

Bauplan Nr. 33

DDR 1,– M

Klaus Schlenzig · Winfried Müller

Lumineszenz-Mosaik

Originalbauplan Nr. 33

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

Ähnlich wie vor 20 Jahren der Transistor die Elektronenröhre abzulösen begann, verdrängen Festkörperanzeigebauelemente gegenwärtig weitere Bauelemente der klassischen Vakuumtechnik, wie Glüh- und Glimmlampen für Signalzwecke, gasgefüllte Ziffernanzeigeröhren und Lumineszenzanzeigeröhren. Festkörperanzeigebauelemente zeichnen sich durch folgende Vorteile aus:

- niedrige Betriebsspannung,
- niedriger Stromverbrauch,
- sehr hohe Lebensdauer,
- zu Schaltkreisen kompatibel,
- praktisch trägheitslos,
- kein Einschaltstromstoß,
- Gleichrichtereffekt,
- Spannungsschwelle,
- kleine Abmessungen,
- hohe Stoß- und Vibrationsfestigkeit.

Zu den Festkörperanzeigebauelementen, die sichtbares Licht emittieren – und diese interessieren hier –, gehören die Lumineszenzdioden oder lichtemittierenden Dioden (Kurzbezeichnung: LED) und die Festkörpersymbolanzeige-Bauelemente (Kurzbezeichnung: FSA). Während die LEDs vorwiegend für Signalzwecke verwendet werden, dienen die FSA zum Darstellen von Ziffern, Zeichen und Symbolen. Zum Darstellen von Ziffern ist die „7-Segment“-Konfiguration allgemein verbreitet. Die in Form einer „8“ angeordneten Leuchtsegmente genügen, um sämtliche Ziffern und darüber hinaus einige Symbole und Buchstaben abbilden zu können.
Für die gemeinsame Darstellungsmöglichkeit von Ziffern und allen Buchstaben des Alphabets sowie aller denkbaren Symbole ist eine sogenannte „7 × 5-Punkt-Matrix“ erforderlich. Sie besteht aus 35 lichtemittierenden Dioden, die auf 7 Zeilen mit je 5 LED verteilt sind.
Die lichtemittierende Diode ist das Ausgangsprodukt für alle lichtemittierenden Festkörperbauelemente. Sie werden grundsätzlich in Durchlaßrichtung betrieben. Durch den fließenden Strom gelangen frei bewegliche Elektronen über den p-n-Übergang ins p-Gebiet, wo sie mit den vorhandenen Defektelektronen rekombinieren. Bei diesem Vorgang wird Energie als Strahlung abgegeben. Bild 1 zeigt in schematischer Darstellung den Halbleiterkristall einer LED auf der Basis von Gallium-Arsenid-Phosphid (GaAsP). Der p-n-Übergang befindet sich etwa 2 bis 4 μm unter der Halbleiteroberfläche. Das Licht wird in dem dünnen p-Gebiet erzeugt und verläßt den Kristall durch die nahe Oberfläche. Alles Licht, das sich in das Innere des Kristalls ausbreitet, wird absorbiert.
Der strukturelle Aufbau einer LED erfolgt nach allgemeinen, in der Halbleitertechnik bekannten Verfahren. Das durch elektrische Energie hervorgerufene Licht ist nahezu einfarbig, also monochromatisch. Ein gewisser Nachteil der derzeit überwiegend mit rotem Licht leuchtenden Anzeigebauelemente besteht dabei in der Ermüdung des Auges bei längerem Betrachten, wie das z. B. beim Arbeiten mit FSA-bestückten Meßgeräten nötig ist.
Die Farbe des abgestrahlten Lichtes ist abhängig vom gewählten Kristallmaterial und von dessen Dotierung. Gallium-Arsenid-Phosphid wird vor allem für Bauelemente verwendet, die rotes Licht emittieren. Diese Kombination hat den Vorteil einer wirtschaftlichen Technologie. Die Lichtabgabe ist etwa proportional zum Flußstrom.
Die Materialkombination Gallium-Phosphid (GaP) strahlt je nach Dotierung in den Farben Grün, Gelb und Rot. Der Herstellungsprozeß von GaP ist erheblich aufwendiger als der von GaAsP.
Bild 2 zeigt die Lage der Emissionswellenlängen von lichtemittierenden Festkörperbauelementen auf der Basis von GaAsP und unterschiedlich dotiertem GaP im Vergleich zur Kurve der relativen Augenempfindlichkeit.
Die im vorliegenden Bauplan benutzten Festkörperanzeigebauelemente basieren auf GaAsP.

2. Basisinformationen zu Lumineszenzbauelementen

2.1. Aufbau von Leuchtdioden

Der Aufbau der LED ähnelt in mancher Weise den Technologien herkömmlicher Halbleiterbauelemente. Als Gehäusebauformen haben sich die Allplastgehäuse allgemein durchgesetzt (Bild 3). Das Plastmaterial ist hinsichtlich eines besseren Kontrastes rot eingefärbt. Aber auch glasklare Typen sind üblich, wobei dem Plastkörper häufig ein lichtbrechendes Material beigemischt ist, das eine diffuse Lichtabgabe bewirkt.
Der Plastkörper umhüllt schützend das Halbleitersystem und stabilisiert die nach außen herausgeführten Anschlußfahnen. Der sphärisch gestaltete Dom sowie die geometrische Anordnung des lichtemittierenden Kristalls bilden zusammen ein optisches System, das einen optimalen Lichtaustritt gewährleistet.
Bild 4 zeigt den prinzipiellen konstruktiven Aufbau. Der Halbleiterkristall selbst ist auf einem der Anschlußkontakte elektrisch leitend befestigt. Eine hauchdünne Drahtverbindung (Bonddraht) stellt die elektrische Verbindung zum anderen Anschlußkontakt her. Die Polarität der Anschlüsse ist an den Anschlußfahnen unterhalb des Plastkörpers erkennbar: Zwei nach links und rechts seitlich abzweigende Nasen weisen auf den Pluspol (Anode) hin; bei der Katode fehlt die zweite Nase.

2.2. Aufbau von Symbolanzeigebauelementen

2.2.1. Anzeigebauelemente VQB 71 und VQB 73, einstellig, 7 mm Symbolhöhe

Das Anzeigebauelement VQB 71 dient zur Darstellung der Ziffern 0 bis 9 sowie eines Dezimalzeichens rechts neben der Ziffer. Neben der Zifferndarstellung ist es selbstverständlich möglich, einige Buchstaben sowie selbstkomponierte Symbole, die sich aus der achtförmigen Segment-Konfiguration ableiten lassen, darzustellen. Mit dem Typ VQB 73 lassen sich die Vorzeichen Plus (+), Minus (−) und das Symbol für Prozent (%) darstellen.
Die Symbolhöhe beider Bauelemente beträgt 7 mm. Mit dieser Symbolhöhe sind Ableseentfernungen bei günstigen Umlichtbedingungen von etwa 2 m zu erreichen. Die mechanischen Abmessungen sowie die Anschlußbelegungen können für die Typen VQB 71 und VQB 73 aus Bild 5 und Bild 6 ersehen werden.
Die Segmente der relativ großen Ziffern und Symbole sind jeweils aus 2 in Reihe geschalteten Einzeldioden zusammengesetzt. Dieses Verfahren bedingt durch die Reihenschaltung der Flußspannungen eine Verschiebung der Durchlaßkennlinie um den Betrag der hinzugekommenen Flußspannung nach rechts (s. Bild 10). Dieser Umstand ist bei der Dimensionierung der Vorwiderstände zu berücksichtigen. Ausgenommen hiervon ist das Dezimalzeichen. Es besteht aus einer Diode. Für diese gilt das linke Kennlinienfeld von Bild 10. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß für jedes Segment ein Vorwiderstand notwendig ist!
Die balkenförmigen Segmente und das Dezimalzeichen sind auf einer Keramikunterlage befestigt. Gleichzeitig sind die Anschlußfahnen an diese Keramik angelötet. Das gesamte Anzeigesystem ist mit einer rot eingefärbten, transparenten Kunststoffumhüllung verkapselt. Die einzelnen Segmente und das Dezimalzeichen entsprechen potentialmäßig Katoden. Die gemeinsame Gegenelektrode hat die Funktion einer Anode. Bild 7 zeigt die innere Schaltung des Anzeigebauelements VQB 71.

2.2.2. Anzeigebauelement VQC 32, dreistellig, 3 mm Symbolhöhe

Dieses Bauelement ist ein dreistelliges Anzeigesystem zur Darstellung der Ziffern 0 bis 9. Jeder Stelle ist rechts von der Ziffernposition ein Dezimalzeichen zugeordnet. Die Zifferngröße beträgt 3,4 mm. Bild 8 zeigt die mechanischen Abmessungen der VQC 32.
Die Segmente bestehen aus einzelnen Lumineszenzdioden, so daß ihr Kennlinienverlauf und der der Dezimalzeichen vergleichbar ist mit dem einer Lumineszenzdiode VQA 12 (s. Bild 10). Die Segmente und die Dezimalzeichen sind einzeln auf einer gemeinsamen Trägerkeramik befestigt. Das gesamte System ist wiederum mit einem transparenten roten Kunstharz umhüllt. Dieses Anzeigebauelement kann hinsichtlich der Anschlußfahnengestaltung in 2 Varianten bezogen werden (Bild 8 d, e). Im Gegensatz zur VQB 71/73 bildet die Katode die gemeinsame Gegenelektrode. Als Anoden sind folglich die Segmente und das Dezimalzeichen ausgebildet. Dieses Bauelement, und darauf muß deutlich hingewiesen werden, ist nur für den Zeitmultiplexbetrieb geeignet! Für diese Schaltungstechnik ist charakteristisch, daß alle gleichpositionierten Segmente aller Stellen eines Anzeigebauelements zusammengeschaltet sind (Bild 9). Diese Zusammenschaltung erfolgt bereits beim Bauelementehersteller im Innern des Bauelements!
Durch die interne Zusammenschaltung gleichwertiger Segmente ergeben sich für das dreistellige Bauelement folgende Anschlußbelegungen: 7 Anschlüsse für die 7 × 3 Segmente A bis G, ein Anschluß für die 3 Dezimalpunkte sowie je ein Anschluß für die Gegenelektroden der einzelnen Stellen. Mit wachsender Stellenanzahl eines Anzeigesystems kommt lediglich je ein Anschluß für die gemeinsame Gegenelektrode hinzu.

Merke: Für den Zeitmultiplexbetrieb vorbereitete Anzeigebauelemente können nur mit einer speziellen Schaltungstechnik angesteuert werden!
Bild 11 zeigt eine Prinzipschaltung für Zeitmultiplexbetrieb.

2.3. Eigenschaften von Festkörperanzeigebauelementen

Die nachfolgend beschriebenen Eigenschaften gelten, da die Materialbasis die gleiche ist, sowohl für Lumineszenzdioden als auch für Symbolanzeigebauelemente. Die Betrachtungen werden auf LED-Bauelemente verallgemeinert, sofern keine besonderen Hinweise auf bestimmte Symbolanzeigebauelemente erfolgen. Die angeführten Kennlinien basieren auf Einzelmessung und können deshalb nur orientierenden Charakter haben. Eine Identität der technischen Daten und der Kennlinien mit den Parametern der als Bastlertypen deklarierten Festkörperanzeigebauelemente ist nicht in jedem Fall gegeben. Im Sinne einer vollwertigen Information sind vielmehr Gegenstand der Betrachtung Standard-Bauelemente des VEB Werk für Fernsehelektronik. Auf abweichende Parameter der Bastlertypen wird in den Informationen der Verkaufsstellen hingewiesen.

2.3.1. Durchlaßstromkennlinie

Bild 10 zeigt Durchlaßstromkennlinien, wie sie für Festkörperanzeigebauelemente typisch sind. Sie ähneln denen von Siliziumdioden, wobei die Schwellspannung aber entsprechend höher liegt, nämlich bei etwa $U_F \approx 1{,}5$ V bis 1,6 V (Ausnahme: VQB 71, $U_F \approx 3{,}6$ V). Der Knick der Kennlinie ist stark ausgeprägt. Die Kennlinie verläuft nach dem Knick steil ansteigend. Der steile Anstieg besagt, daß der Spannungsabfall über einer Diodenstrecke vom durchfließenden Strom nur wenig beeinflußt wird. Die maximal zulässige Sperrspannung ist bei diesen Bauelementen in der Größenordnung von $U_R \lesssim 4$ V festgelegt. Die relativ niedrigen Sperrspannungswerte sind auf die hohe Dotierungsrate des lichtemittierenden Materials zurückzuführen. Bei den Bastlertypen kann sie niedriger liegen. Diese Tatsache ist aber bedeutungslos, da für die zu besprechenden Anwendungsbeispiele die Größe der tatsächlichen Sperrspannung nicht interessiert.
Im Zusammenhang mit der Erwähnung der Sperrspannung sei nochmals darauf hingewiesen, daß als Bastlertypen deklarierte Festkörperanzeigebauelemente nur in Durchlaßrichtung betrieben werden dürfen. Eine sperrseitige Belastung, z. B. bei Wechselspannungsbetrieb, ist unzulässig. Man muß sie durch schaltungstechnische Maßnahmen (z. B. mit Dioden) ausschließen. Die Nichtbeachtung dieser Forderung führt zur Zerstörung der Sperrschicht und damit zum Ausfall des Bauelements.

2.3.2. Abhängigkeit der Lichtstärke vom Flußstrom

Die Durchlaßstromkennlinie gibt keine Auskunft über die Abhängigkeit des relativen Lichtstroms von der Größe des durch das Bauelement fließenden Stromes I_F. Der Kurvenverlauf der Kennlinie nach Bild 12 zeigt, daß im normalen Betriebsbereich die relative Lichtstärke linear mit dem Flußstrom ansteigt. Die Lichtstärke ist also flußstromabhängig. Jede Änderung des Flußstroms bedeutet zwangsläufig auch eine Änderung der Lichtstärke. Die Größe des Flußstroms und somit die Lichtstärke wird bei unverändertem Vorwiderstand durch Schwankungen der Versorgungsspannung und durch äußere Temperatureinflüsse beeinflußt.

2.3.3. Temperaturverhalten

Aus dem Kennlinienfeld nach Bild 10 ist ebenfalls erkennbar, daß lichtemittierende Bauelemente in ihrem Verhalten von der auf sie einwirkenden Temperatur beeinflußt werden. Neben dem Kennlinienfeld, das bei einer Umgebungstemperatur von $\vartheta = 25\,°C$ (Zimmertemperatur) aufgenommen worden ist, sind zwei weitere eingezeichnet, ausgewählt für die Temperaturen $\vartheta_a = 10\,°C$ und $\vartheta_a = 70\,°C$. Man erkennt, daß bei gleichem Flußstrom unterschiedliche Flußspannungen gemessen werden oder daß bei gleicher Flußspannung die Flußströme abweichende Werte zeigen. Sich ändernde Flußstromwerte führen, wie zuvor angedeutet, zu Rückwirkungen auf die Lichtstärke. Da die Werte der genannten Parameter bei steigender Umgebungstemperatur kleiner werden, ordnet man ihnen ein negatives Temperaturverhalten zu. Bild 13 veranschaulicht, mit welchen Größenordnungen zu rechnen ist.

Die Beeinflussung der Lichtstärke durch Temperaturschwankungen ist nicht unerheblich; die Lichtstärke kann, wie aus Bild 14 erkennbar, bis auf etwa 70% zurückgehen, wenn die Umgebungstemperatur entsprechend hoch ansteigt.
Für Anwendungen, wo das von Nachteil ist, sind Schaltungen entwickelt worden, die diesen Effekt kompensieren. Es handelt sich dabei um Konstantstromquellen.

2.3.4. Berechnung des Arbeitswiderstands

Der durch ein Festkörperanzeigebauelement fließende Strom I_F (Flußstrom) darf einen maximal zulässigen Wert I_{Fmax} nicht überschreiten. Der Grenzwert beträgt z.B. für die LED VQA 12 $I_{Fmax} = 20$ mA. Die Strombegrenzung wird durch einen Vorwiderstand R_v erreicht, wobei es zunächst gleichgültig ist, ob man diesen in die Anoden- oder in die Katodenzuleitung einfügt. Die Dimensionierung des Widerstands erfolgt nach

$$R_v = \frac{U_b - U_F}{I_F};$$

U_b – Betriebsgleichspannung in V, U_F – Flußspannung in V, I_F – Flußstrom in mA, R_v in kΩ.
Für die Betriebsspannungen $U_b = 5$ V (TTL-Betriebsspannung, s. Bauplan Nr. 29) bzw. $U_b = 12$ V ergeben sich nach vorstehender Formel als Mindestwerte die Vorwiderstände $R_v = 230\,\Omega$ bzw. $R_v = 700\,\Omega$. Im Kennlinienfeld nach Bild 10 sind die entsprechenden Durchlaßkennlinien für die errechneten Vorwiderstände eingezeichnet. Aus Bild 10 läßt sich ablesen, daß ein großer Vorwiderstand in Verbindung mit einer hohen Betriebsspannung bei Betriebsspannungsschwankungen eine bemerkenswert kleine Flußstromänderung nach sich zieht. Beim Betrieb eines Lumineszenzbauelements mit kleiner Betriebsspannung und folglich kleinerem Vorwiderstand dagegen ist die Änderung groß. Es sei daran erinnert, daß Flußspannungsabweichungen zu entsprechenden Schwankungen der Lichtstärke führen.

2.4. Einbauhinweise für LED und FSA

Die beschriebenen LED- und FSA-Bauelemente sind zum direkten Einlöten in Leiterplatten vorbereitet. Aus diesem Grund wurden für diese Bauelemente keine Fassungen vorgesehen. Die Abstände und Anordnungen der lötbaren und bereits verzinnten Anschlußfahnen entsprechen mit 2,5 mm Rasterabstand dieser Montageart. Die Montage der LED kann gemäß Bild 15 in verschiedener Weise vorgenommen werden: Bild 15a zeigt die stehende Anordnung in einer Leiterplatte, wobei zwischen der Unterseite des Plastkörpers und der Leiterplatte durch die Aufsetznasen ein Zwischenraum zur Luftzirkulation frei bleibt.
Die liegende Befestigung in einer Schaltung (Bild 15b) ist zulässig, wenn beim Abwinkeln der Anschlußfahnen die Biegekräfte mit einer Flachzange abgefangen werden. Die Zange muß sich zwischen dem Plastkörper und der Biegestelle befinden.
Bild 15c zeigt eine Befestigungsmöglichkeit einer LED auf beiderseitig kaschiertem Leiterplattenmaterial. Der verbleibende Zwischenraum zwischen den Anschlußdrähten erlaubt diese Anbringungsmöglichkeit. Werden die LEDs in Frontplatten befestigt, so empfiehlt es sich, das gebohrte Fenster rückseitig, wie in Bild 15d dargestellt, anzusenken. Das Bauelement muß in diesem Fall z. B. durch einen Lötstützpunkt fixiert werden.
Die Montage der Symbolanzeigeelemente in Leiterplatten bietet keine Besonderheiten. Diese Bauelemente werden ebenfalls direkt in die Schaltung eingelötet. Allerdings ist zu beachten, daß die Anschlüsse im halbierten Raster (1,25 mm) liegen (s. Bild 5a). Das bedeutet, daß z. B. in 2,5-mm-geteilten Lochrasterplatten nur jeweils eine der beiden Anschlußzeilen einer Seite unmittelbar eingelötet werden kann. Da ein Biegen der Anschlüsse quer zur Fahne untersagt ist, muß gegebenenfalls durch Hochbiegen und Anlöten von Drähten auf 2,5 mm adaptiert werden. In selbst hergestellten Leiterbildern kann man dagegen von vornherein auf diese Anschlußlage Rücksicht nehmen.

Biege- und Lötvorschriften
Die Anschlußfahnen von LED dürfen in einem Winkel von maximal 90° abgebogen werden. Der Biegeradius muß dabei mindestens 0,5 mm betragen und die Biegestelle mindestens 1,5 mm vom Gehäuseboden entfernt sein. Gebogen wird über die breiten Seiten der Anschlußfahnen.
Die bereits abgewinkelten Anschlußfahnen von FSA-Bauelementen dürfen nur in einem Bereich von 0° bis 15° verbogen werden. Für Kolbenlötung wird angegeben:
Löttemperatur ≤ 300 °C; Lötzeit ≤ 3 s; Flußmittel SW 31, SW 32 nach TGL 14 907.
Das Bauelement darf mit folgenden Flüssigkeiten in einem Zeitraum von maximal 10 min zum Entfernen von Flußmittelrückständen gewaschen werden: Äthanol, Methanol, Isopropanol, Butanol, Normal-Benzin und Fit. Anschließend sind die Bauelemente zu trocknen.

2.5. Technische Daten

Die Eigenschaften eines elektrischen Bauelements werden durch Kennwerte und Grenzwerte charakterisiert. Soweit nicht anders angegeben, beziehen sich die Kenn- und Grenzwertangaben auf eine Umgebungstemperatur von $\vartheta_a = 25$ °C.
Kenndaten sind Solldaten und dienen zur Beschreibung der von äußeren Schaltelementen unbeeinflußten Eigenschaften eines Bauelements.
Grenzdaten dürfen unter keinen Umständen überschritten werden. Die Schaltung muß daher so ausgelegt sein, daß während der Lebensdauer des betrachteten Bauelements und der Schaltung unter den ungünstigsten Arbeitsbedingungen im Hinblick auf Schwankungen der Speisespannung, der Einstellung und der Streuwerte der übrigen Bauelemente, der Belastung, des Signals, der Umgebungsbedingungen und der Daten des Bauelements kein Grenzwert überschritten wird. In Tabelle 1 wurden die technischen Daten der Standardbauelemente zusammengefaßt.

3. Leuchtdioden-Mosaik

Im folgenden sollen einige technische Anwendungen von LEDs beschrieben werden, die zum Teil wegen ihres geringen Strombedarfs, zum Teil auch wegen ihres kleinen nötigen Einbauvolumens gegenüber dem Einsatz von Kleinglühlampen vorzuziehen sind. Außerdem ergibt sich oft eine interessante Schaltungstechnik, und z. B. der Fortfall des Kaltstromstoßes gestattet gegenüber Glühlampen den Einsatz von kleinen Transistoren mit niedrigem Kollektorstrom (z. B. Miniplasttypen).

3.1. Einfache Betriebsanzeige

Die einfachste Anwendung einer Leuchtdiode besteht darin, einen Betriebszustand anzuzeigen. Bereits von etwa 2 V Betriebsspannung an ist das möglich; eine obere Grenze besteht praktisch kaum. Wichtig ist die Berücksichtigung der niedrigen Sperrspannung, wofür Bild 16 zwei Möglichkeiten zeigt. In der Schaltung nach Bild 16a begrenzt die antiparallelgeschaltete Si-Diode die Sperrspannung bei Wechselspannung bzw. bei Falschpolung auf etwa 0,7 V, in der Schaltung nach Bild 16b sperrt sie die unzulässige Stromrichtung. Fall a erfordert bei Betrieb an Wechselspannung für R_v, da dieser in beiden Richtungen gleich stark belastet wird, nahezu die doppelte Belastbarkeit gegenüber Fall b. Dafür muß im Fall b der Sperrstrom der Schutzdiode folgender Bedingung gehorchen:

$$I_{sperrD} < \frac{U_{sperrLED}}{R_p};$$

ohne R_p würde auf die LED unter Umständen zu viel Sperrspannung entfallen. D muß bei b) außerdem die volle Betriebsspannung U_b aushalten.
Der Vorwiderstand einer Betriebsanzeige ist gemäß Abschnitt 2.3.4. unter Berücksichtigung der höchsten Betriebstemperatur nach Abschnitt 2.3.3. zu wählen. Das heißt: Schwankende Temperatur

und ein unvermeidlicher Betriebsspannungshub bedeuten unterschiedlich helle Anzeige, was sich bei kleiner U_b stärker bemerkbar macht als bei großer. Sofern im Aufwand vertretbar, empfiehlt sich in solchen Fällen eine Konstantstromspeisung, z. B. nach Bild 17a. Wie klein man sie aufbauen kann, zeigt Bild 17b. Unabhängig von der temperaturabhängigen LED-Spannung und der Betriebsspannung bleibt I_{LED} in den Grenzen konstant, die durch die strom- und temperaturabhängige Spannungsänderung von $U_=$ und U_{BE} gegeben sind, was eine wesentlich kleinere Änderung als mit einem Vorwiderstand allein bedeutet. Eine weitere Konstantstromquelle ist in Abschnitt 3.10. beschrieben. In den üblichen Fällen einer einfachen Betriebsanzeige genügt es jedoch meist, wenn die LED überhaupt noch erkennbar bleibt. Das heißt: In die Gleichung nach Abschnitt 2.3.4. höchste Betriebsspannung und kleinste temperaturmäßig zu erwartende LED-Spannung sowie (höchsten) I_{LEDmax} = 20 mA einsetzen ergibt den erforderlichen Vorwiderstand. Kontrolle mit U_{LEDmax} und U_{bmin} zeigt dann, wieviel I_{LED} noch fließt. Richtwert: Unterhalb von etwa 4 mA läßt die Erkennbarkeit in heller Umgebung (Tageslicht) stark nach; vertiefter Einbau ist auf jeden Fall zweckmäßig.

3.2. Betriebsanzeige für TBT 800

Ein typisches Beispiel für eine deutliche Gebrauchswerterhöhung durch Einbau einer Leuchtdiode gibt der folgende Einsatzfall (Bild 18).
Der Ton- und Bildtester TBT 800 erfreut sich bei vielen Amateuren großer Beliebtheit. Bisher fehlte diesem aus einem 2-V-Akkumulator gespeisten Gerät eine Kontrollmöglichkeit für den eingeschalteten Zustand. Infolge der fertigungsbedingten Symmetrie beider Halbschalen mußte der Anwender eine Markierung anbringen, die jedoch bezüglich Unterspannung oder schlechter Kontaktgabe der Batterie keine Aussage liefern kann. Einbau einer Signallampe scheidet aus Platz- und Strombedarfsgründen aus. Mit einer Leuchtdiode (z. B. VQA 12) können diese Nachteile behoben werden. Über einen Vorwiderstand von etwa 68 bis 100 Ω, auf gewünschte Helligkeit und vertretbaren zusätzlichen Strom (4 bis 6 mA) hin ausgewählt, wird die Leuchtdiode mit den beiden Stromversorgungs-Stecklötösen auf der Leiterplatte verbunden (Polarität beachten!). Gegenüber der Massebuchse ist im Gehäuse eine ausreichend große Öffnung vorhanden, in die die Leuchtdiode eingelegt werden kann. Damit wird gleichzeitig die Lage der Ausgangsseite bei 1poliger Prüfung angezeigt: Bei obenliegender Leuchtdiode ist die Tastspitze in die obere Ausgangsbuchse einzuführen. Durch den Einbau der Leuchtdiode steigt zwar die Stromaufnahme des Testers, doch wird der Betrieb insgesamt sparsamer, da die eindeutige, augenfällige Einschaltinformation Ausschalten in jeder Betriebspause sicherstellt.

3.3. Lichttaster-Markierung

In Neubauten trifft man häufig auf Niederspannungssteuerungen für Beleuchtung. Ein solcher Taster kann mit einer LED versehen werden, die das Auffinden des Knopfes bei Dunkelheit sicherstellt. Dazu wird eine schräge, auf der LED-Seite nochmals aufgeweitete Bohrung im Taster angebracht, die die Leuchtdiode aufnimmt. Auch für einen Vorwiderstand von z. B. 0,33 bis 1 kΩ bei 12 V Betriebsspannung sowie eine Sperrspannungs-Schutzdiode ist noch genügend Platz (Bild 19).

3.4. Blinkanzeige „BL 1“

Nicht nur im Energiebedarf meist sparsamer, sondern auch besser erkennbar sind blinkende Anzeigen. Ein Komplementärmultivibrator hat dazu noch den Vorteil, daß er in den Pulspausen nahezu keinen Strom aufnimmt. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz komplementärer Si-Transistoren (z. B. SS 216 vom Kombinat VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder mit KF 517 von TESLA), doch läßt sich für den pnp-Typ auch ein alter pnp-Ge-Transistor verwenden (dann gestrichelten Widerstand entsprechend Bild 20a zur Reststromverringerung einsetzen!). Ein solcher Blinkindikator kann gemäß Bild 20b einschließlich LED im Format 20 mm × 25 mm aufgebaut werden und paßt dann z. B. in eine „Kappe 1“ von „Amateurelektronik“, die eine Bohrung für die LED erhält. Aus Platzgründen wurde

auf den bei wesentlich über 2 V Betriebsspannung erforderlichen Begrenzungswiderstand vor der Basis von T2 verzichtet.
Die Einheit läßt sich auch als Steckbaustein ausführen und damit schnell in unterschiedliche Aufgaben einbeziehen.
Als Anwendungsbeispiel zeigt Bild 21 einen Pflanzenwächter, der auf das Austrocknen z. B. von Hydrotöpfen mit Blinksignalen hinweist. Die Einheit wird mit einem RZP-2-Akkumulator gespeist, der etwa 2× jährlich nachzuladen bzw. auszuwechseln ist. Zwei Elektroden (Drähte, besser aber z. B. Graphitstäbe aus Trockenelementen, angelötete Anschlüsse mit Vergußmasse überzogen) tauchen entsprechend tief in den Behälter. Solange sie die Flüssigkeit leitend verbindet, fließen nur wenige Mikroampere. Die Blinkzeit bei Austrocknen kann bei sparsamer Einstellung bis zu 2 Wochen betragen, so daß auch eine derart lange Abwesenheit den Sinn der Einrichtung nicht in Frage stellt.
Mit einer 3. Elektrode und einem 2poligen Umschalter (oder – wie dargestellt – durch vorübergehendes Umstecken) läßt sich beim Auffüllen eine Überlaufwarnung herstellen. Die 3. Elektrode befindet sich in einer solchen Höhe, wie sie der Flüssigkeitsspiegel maximal erreichen darf. In diesem Augenblick blinkt die Anzeige und kann nun wieder auf Bereitschaft für Alarm bei Austrocknen umgeschaltet werden.

3.5. Spannungswächter „ÜÜ 1“

In Verbindung mit Z-Diodenteilern können Leuchtdioden die tatsächliche Lage einer Spannung in einem vorgegebenen Spannungsbereich anzeigen. In der Schaltung nach Bild 22 (aus „Electronic Design“, 22/74, Heft 19, vgl. „radio–fernsehen–elektronik“ 24/75, Heft 10, Seite 343) geschieht das für ein 12-V-Bordnetz mit einer Nennspannung von 14,4 V (Normalanzeige) sowie den Grenzwerten „Überspannung“ ($\gtrsim$ 15,1 V) und „Unterspannung“ ($\lesssim$ 13,7 V). Diese Hysterese wird von den beiden Si-Dioden festgelegt. Stromaufnahme der Schaltung: etwa 50 mA. Besonders günstig dürften für diese Schaltung LEDs verschiedener Farben sein, die leider für den Amateur noch nicht verfügbar sind. Bild 23 gibt für die Schaltung, die sicherlich viele Pkw-Fahrer interessieren dürfte, einen Leiterplattenmodul an, der in eine „Amateurelektronik“-Kappe der Größe 1 paßt.

3.6. Unterspannungsanzeige „UA 1“

Wenn eine Information über das Unterschreiten einer Spannung genügt, so empfiehlt sich eine Schaltung nach Bild 24a, dort ausgelegt für die Kontrolle eines 6-V-Akkumulators. Solange dessen Spannung genügend hoch ist, fließt durch den Z-Diodenteiler Strom, und T1 ist geöffnet, T2 also gesperrt. Sobald $U_b - U_z < U_{BEmin}$ (die für T1 nötige Basis-Mindestspannung), wird T1 gesperrt, und die Leuchtdiode beginnt intensiv zu leuchten. Auch diese Einheit läßt sich sehr klein aufbauen, schon auf Grund des niedrigen erforderlichen Kollektorstroms. Gemäß Bild 24b reicht dazu wieder eine „Kappe 1“, die eine Leiterplatte vom Format 20 mm × 25 mm enthält.

3.7. Leuchtzeile „LZ 1“ („Thermometerskale“)

Eine mit der Höhe des angelegten Meßwerts ansteigende bzw. sich verlängernde Lichtpunktsäule im Sinne einer „Thermometer“-Anzeige läßt sich durch eine mehrstufige Emitterfolgerschaltung erzielen (Bild 25). Mit der im Kollektorzweig von T1 liegenden LED beginnend, leuchten nacheinander alle 5 LEDs auf, wenn die Eingangsspannung von 0 auf etwa 1 V erhöht wird. Die Linearisierung der Abhängigkeit dieser Anzeige von der Eingangsspannung erfolgt mit dem gemeinsamen Emitterwiderstand. Die an ihm auftretende Spannung wird über den Gegenkopplungsverstärker mit T6 und T7 sowie durch D1 auf der Höhe der Eingangsspannung gehalten. Gemäß Quelle („Electronic Design“ 21/1973, Heft 21) ergibt sich mit R_{10} = 20 Ω und 10 mA LED-Strom eine Auflösung von 200 mV bei U_{max} = 1 V.

Experimentiervorschläge: Mit einem entsprechend ausgelegten Eingangsteiler könnte man die Einrichtung z. B. als grob gestuftes Digitalvoltmeter einsetzen, oder sie dient als Indikator für eine Meßbrücke, wobei entweder die Spannungen umgekehrter Polarität unterdrückt oder in einem komplementären Schaltungsteil als „Minusgrade" angezeigt werden. Bild 25e zeigt eine einfache Möglichkeit, Temperaturen im Zimmertemperaturbereich anzuzeigen. Weitergehende Anwendungen mit interessanten, allerdings umfangreicheren Schaltungsvorschlägen hat H. Kühne unter Modifizierung auf eine Lichtpunktanzeige in „radio–fernsehen–elektronik" 24/75, Heft 18, beschrieben.

3.8. Stereo-Aussteueranzeige

Ebenfalls in Form einer „Thermometerskale" zeigt diese Schaltung (Bild 26) durch aufeinander zulaufende Lichtpunktbänder die Größe der Aussteuerung eines NF-Stereoverstärkers an. Diese Anwendung ist mit 9 LEDs je Kanal allerdings recht aufwendig. Die Anregung dazu stammt aus „Funkschau", Heft 13/73. Es handelt sich um einen Spitzenwertgleichrichter mit 1stufigem Vorverstärker. Dem Gleichrichter folgt ein Impedanzwandler, der über 3 Schutzdioden 9 Schalttransistoren ansteuert. Diese wiederum schalten die einzelnen LEDs, die ihren Betriebsstrom aus einer Konstantstromquelle beziehen. Die Betriebsspannung liegt in der für NF-Leistungsverstärker üblichen Größenordnung. In der gewählten Schaltungsvariante schließt man die für Stereo zweimal erforderliche Anordnung, für die Bild 27a eine Leiterplatte zeigt (Versuchsmuster, endgültige Gesamtausführung für Stereo s. Bild 27b), parallel zu den Lautsprecherausgängen an. Die flache Gestaltung ermöglicht Montage unter dem Stereoverstärker (z. B. HSV 900 o. ä.) bzw. einfachen Einbau.

3.9. Diodentester

Mit einem Klingeltransformator, einem Vorwiderstand von etwa 330 Ω bei $U_{eff} = 6$ V Nennspannung des Transformators sowie mit 2 LEDs läßt sich ein überaus einfaches Diodenprüfgerät aufbauen (Bild 28a, nach „Opto-Kochbuch" modifiziert). Die Anzeige sagt aus:
– Leerlauf (Unterbrechung), wenn beide Dioden dunkel bleiben,
– Kurzschluß, wenn beide Dioden leuchten,
– Durchlaßrichtung des Prüflings, wenn nur die obere Diode leuchtet,
– Sperrichtung des Prüflings, wenn nur die untere Diode leuchtet.
Funktionskontrolle erfolgt durch Überbrücken der Prüfanschlüsse. Da jeweils eine der beiden Dioden in Durchlaßrichtung wirkt, schützen sich beide bezüglich Sperrspannung gegenseitig.
Das Aufbaubeispiel wurde unter Beachtung der Vollisolation zum Primärkreis im Gehäuse eines Klingeltransformators KT 07 untergebracht. Bohrungen nehmen die Anzeigedioden auf, in weitere wurden Drahtkontakte zum Anschluß der Dioden gesteckt. Zur Betriebsanzeige enthält das Muster nach Bild 28b und c die in der Mitte angeordnete 3. Diode. Die Symbole an den beiden „Richtungsdioden" beziehen sich auf die Lage der Anschlüsse des Prüflings. Für Miniplastdioden wurden die beiden eng nebeneinanderliegenden mittleren Drahtanschlüsse vorgesehen.

3.10. Polaritäts- und Spannungsprüfer (Betriebsanzeige „BA 1" für weiten U-Bereich)

Diese Schaltung (Bild 29a) geht ebenfalls auf das „Opto-Kochbuch" zurück. Sie zeigt die Anwesenheit und die Polarität von Spannungen etwa im Bereich von 4 bis 30 V an. Sie läßt sich als Prüfstift oder als Modul (dann z. B. wieder in einer „Kappe 3" auf einer Leiterplatte vom Format 25 mm × 40 mm) aufbauen.
Die beiden Schaltungsteile sind symmetrisch zueinander. Jeweils die bezüglich der angelegten Spannung in Flußrichtung geschaltete Paralleldiode schließt den Schaltungsteil kurz, der die gegenteilige

Polarität anzeigt. Die beiden Transistoren jeder Seite wirken als Stromgenerator: Der dem Anschluß nähere bestimmt mit seiner Basis-Emitter-Spannung U_{BE} den Strom durch den 33-Ω-Widerstand; denn wenn die Spannung am Widerstand weiter steigen will, leitet dieser Transistor – da er dann weiter geöffnet wird – einen Teil des von 8,2-kΩ-Widerstand eingespeisten Basisstroms des oberen Transistors ab, so daß der Strom durch den 33-Ω-Widerstand (und damit der durch die im Kollektorzweig liegende LED) begrenzt wird. Bei $U_{BE} \approx 0{,}66$ V und $R = 33\,\Omega$ erhält man $I_{LED} \approx 20$ mA. Die obere Spannungsgrenze der Anordnung wird durch die die LEDs steuernden Transistoren bezüglich Grenzspannung und Verlustleistung bestimmt. (Beispiel: 600 mW sind mit 20 mA und $U_{prüf} = 30\,V + U_{LED} + U_{BE1}$ erreicht.) Für T2 ist ein Mindest-β von etwa 100 erforderlich, wenn die LED schon bei der von U_{LED}, U_{BE1} und $U_{CERest2}$ bestimmten Mindest-Prüfspannung hell leuchten soll. Unter Verwendung nur einer Schaltungshälfte gelangt man – gewissermaßen als „Nachtrag" zu den Abschnitten über einfache Betriebsanzeigen – zu einem Modul, der ohne Änderungen in Geräte mit Versorgungsspannungen zwischen etwa 4 V und 30 V als Dauerlicht-Betriebsanzeige eingesteckt werden kann. Für ihn wurde daher gemäß Bild 29b ein Leitungsmuster entworfen. Die Leiterplatte paßt wieder in eine „Kappe 1" von „Amateurelektronik", die für die LED stirnseitig eine Bohrung erhält.
Bei einem Spannungshub von nicht mehr als etwa 1 : 2 reduziert sich der Aufwand für den Polaritätsindikator nach Bild 29a auf die „triviale" Schaltung nach Bild 30, mit der bei Aufleuchten beider Dioden auch signalisiert wird, ob Wechselspannung anliegt. R_v dimensioniert man nach der maximal zu erwartenden Spannung so, daß dann höchstens 20 mA fließen.

3.11. Symbolanzeige mit Leuchtdioden

Manchmal kann es günstiger sein, statt einer FSA für die Polaritätsanzeige einer im Bereich bekannten Spannung (danach Vorwiderstand dimensionieren!) eine LED-Anordnung zu wählen. Bild 31 zeigt eine Schaltung für etwa 8 bis 12 V in den beiden Zuständen „+" und „–"; Bild 32 gibt eine Variante für etwa 4 bis 8 V Betriebsspannung wieder. Diese Anregung stammt aus dem Applikationsbericht „Anwendung von GaAsP-Leuchtdioden" von Telefunken.

4. FSA-Mosaik

4.1. Einstellige Anzeige einer Schalterstellung (Anwendung z. B. als Kanalanzeige für Fernsehgeräte u. a.)

Bild 33 zeigt die Diodenmatrix mit den Strombegrenzungswiderständen R_v der Segmente für eine Darstellung der Ziffern 0 bis 9. Es handelt sich um eine Umwandlung einstelliger Dezimalzahlen zur Anzeige durch 7-Segment-Einheiten. Während die Aufgabe bei Einsatz einer dekadischen Ziffernanzeigeröhre „trivial" lösbar ist (allerdings eine höhere Spannung erfordert), müssen den Dezimalzahlen bei der 7-Segment-Anzeige die entsprechenden Leuchtbalken zugeordnet werden; man setzt die Ziffern also zusammen. Das geschieht über eine Diodenmatrix. Als Schalter kommen Drehschalter mit 10 Schaltstellungen oder ein zehnteiliger Tastenschalter in Frage. Es genügt ein Kontakt je Ziffer. Für Anwendungen, bei denen man auf die Schaltstellung 0 oder anderer Ziffern (beim Kanalwähler z. B. 1) verzichtet, entfallen die diesen Ziffern zugeordneten Diodengruppen.
Bild 34 zeigt ein Leiterbild für die Ziffern 0 bis 9. Moderne Fernsehgeräte verfügen über Kanalschnellwahltasten. Üblich sind 6 Kanäle. Für die Kennzeichnung der Kanäle durch Ziffern ist der Schaltungsaufbau nach Bild 36a vorbereitet. Das Leiterbild für diese Diodenmatrix geht aus Bild 35 hervor. Die Größe der Widerstände richtet sich nach der verfügbaren Betriebsspannung. Für einige ausgewählte Betriebsspannungen sind die zugehörigen Strombegrenzungswiderstände der im Bild 33 eingefügten Tabelle zu entnehmen. Für andere Betriebsspannungen errechnen sich die Widerstände R_v nach Abschnitt 2.3.4. Bild 36 zeigt ein Leiterplattenmuster; es erhielt ein Gehäuse aus „Amateurelektronik"-Teilen gemäß Bild 36.

4.2. Mehrstellige Anzeige einer Schalterstellung

Die Schaltung ist z. B. zur Stockwerksanzeige für Aufzüge u. a. geeignet. Besteht der Wunsch nach einer mehrstelligen, also einer über die Zahl 9 hinausgehenden Ziffernanzeige, so ergeben sich je nach Problemstellung 2 Möglichkeiten: Die einfachere besteht darin, die in Abschnitt 4.1. beschriebenen Schaltungsaufbauten nebeneinanderzusetzen. Mit dem jeder Stelle zugeordneten Schalter lassen sich in jeder Stelle beliebige Ziffern einstellen. Als Anwendungsbeispiel sei auf die Kalender-Datum-Anzeige hingewiesen. Die Darstellung mehrstelliger Ziffern mit nur einem Schalter setzt voraus, daß dieser über die notwendigen Schaltstellungen verfügt. Jeder Schaltschritt läßt mit dieser Schaltungstechnik die nächsthöhere und beim Zurückschalten die nächstniedrigere Zahl aufleuchten.
Entsprechend der gewünschten Stellenzahl sind ebenso viele Diodenmatrizen mit der FSA VQB 71 nach Bild 33 unter Fortlassung der dort eingezeichneten Ziffernschalter Grundlage des Schaltungsaufbaus.
Durch Kombination dieser Matrixschaltungen mit einer neuen, in Bild 37 gezeigten Diodenmatrix ergibt sich die gewünschte Verflechtung.
Die nur auszugsweise in Bild 37 wiedergegebene Schaltung enthält die zu ihrem Verständnis wesentlichen Baugruppen. Es sind dies die Übergänge von 9 zu 10 und 19 zu 20. Die Ziffernschalter in Bild 37 wurden entsprechend der Zahl der Schaltstellungen durchnumeriert.

4.3. BCD-7-Segment-Dekoder D 147 C

Die Abwicklung von Zähl- und Rechenvorgängen mit elektronischen Schaltungen basiert vielfach auf einem BCD-Kode (BCD: „binär kodierte Dezimalzahlen“). Es handelt sich dabei um die verschlüsselte Darstellung der Zahlen 0 bis 9 durch ein duales (binäres) Zahlensystem.
Elektronische Schaltungen können besonders gut zwischen 2 Zuständen – nämlich „keine Spannung vorhanden“ und „Spannung vorhanden“ – entsprechend den Ziffern 0 bis 1 bzw. den Schaltzuständen L (low = niedrig) und H (high = hoch) unterscheiden. Jede Ziffer wird durch 4 Binärstellen (A, B, C und D), die wiederum jeweils 2 Schaltzustände einnehmen, gekennzeichnet. Für die Schaltzustände stehen entsprechende Spannungspegel (s. Bauplan Nr. 29).
In der elektronischen Zähltechnik erfolgt die Ansteuerung von 7-Segment-Anzeigebauelementen durch binär kodierte Signale im allgemeinen über einem BCD-7-Segment-Dekoder. Die binär kodierten Zahlen zur Ansteuerung der hierfür vorgesehenen 4 Eingänge für die Binärstellen A, B, C, D stammen z. B. aus einer Zähler- oder Uhrenschaltung, die aus integrierten TTL-Schaltkreisen der Serie D 10 aufgebaut sein kann. Die in solchen Schaltungen eingesetzten TTL-Zählerschaltkreise geben den Zählerstand in binärkodierter Form an. Die weitere Umsetzung in eine lesbare Form wird mit dem BCD-7-Segment-Dekoder D 147 C möglich. Beim Schaltkreis D 147 C handelt es sich um eine monolithische hochintegrierte Schaltung in TTL-Technik, die in einem Dual-in-line-Gehäuse aus Keramik untergebracht ist. Bild 38 zeigt die Anschlußbelegung.
Der Dekoder verfügt neben den Eingängen A, B, C, D zur Eingabe der BCD-verschlüsselten Dezimalziffern über die Steueranschlüsse L_T, BI/RBO und RBI. Der Eingang L_T ermöglicht die Prüfung des anzusteuernden Anzeigebauelements („Lampentest“). Liegt an L_T L-Pegel (und an BI/RBO L- oder H-Pegel), so befindet sich an allen 7 Segmentanschlüssen ein L-Signal. Das bedeutet, daß alle Segmente leuchten müssen.
Der Anschluß BI/RBO hat eine Doppelfunktion. Er dient als Eingang für die Steuerung der Anzeigehelligkeit durch periodisches Verdunkeln der Leuchtsegmente und gleichzeitig als Ausgang zum Ansteuern der Eingänge „RBI“ benachbarter Stellen (BCD-Dekoder) zur Unterdrückung nichtbenötigter Nullen [4]. Die Nullenunterdrückung kann erwünscht sein, wenn vor oder hinter einer Dezimalzahl eine oder mehrere Nullen aufleuchten würden. Diese Informationen zum D 147 C mögen genügen, da sich die Beschreibung seiner weiteren Möglichkeiten nicht in den vorgegebenen Rahmen einfügen läßt. Die Funktionstabelle (Tabelle 2) zeigt, welche Pegel an den Eingängen A, B, C, D zur

gewünschten Ziffern- oder Zeichenkombination in der 7-Segment-Konfiguration führen. Tabelle 3 gibt die technischen Daten des D 147 C wieder. Bei Manuskriptabschluß war dieser Schaltkreis allerdings nur industriellen Anwendern zugänglich, ein Basteltyp war noch nicht verfügbar. Bild 39 zeigt die prinzipielle Zusammenschaltung zwischen einem Festkörpersymbolanzeige-Bauelement VQB 71 und einem D 147 C. Grundsätzlich gilt auch bei dieser Schaltungstechnik, daß externe Strombegrenzungswiderstände zum Einstellen der gewünschten Segment-Ströme erforderlich sind. Bild 40 zeigt eine Ausgangsstufe des Dekoder-Treibers.
Die Ansteuerung von Anzeigebauelementen mit gemeinsamer Katode durch den D 147 C erfordert zusätzlichen Bauelementeaufwand.

4.4. Trainer für BCD-Kode-Übungen

Mit einem D 147 C und einer VQB 71 kann gemäß Bild 39 ein einfaches Übungsgerät für den BCD-Kode „1–2–4–8“ aufgebaut werden. Der im Muster verwendete Tastenschalter schaltet 1polig die einzelnen Eingänge des Dekoders, ein 2. Schaltkontakt schaltet dabei die in dieser netzunabhängigen Einheit vorgesehene 6-V-Batterie jeweils mit ein. (Die Spannung der 3 in Serie geschalteten RZP-2-Akkumulatoren wurde durch 2 1-A-Si-Dioden auf etwa 5 V reduziert.) Sind einmal alle Tasten gedrückt, so erkennt man immer noch am stets mitgeschalteten Dezimalpunkt, daß das Gerät eingeschaltet ist. Auf die Anzeige der Ziffer 0 mußte bei dieser Schalteranordnung verzichtet werden. Das ließe sich durch 5 Einzelschalter erreichen, von denen 4 die Stellen A, B, C, D (also 2^0, 2^1, 2^2, 2^3) und der 5. die Batterie einschaltet. Anwendungsbeispiel: $7 = 2^2 + 2^1 + 2^0$ entspricht Tasten A, B, C gedrückt. Wenn ein Teilnehmer mit Blick auf das Zahlenfeld schaltet, kann der gegenübersitzende an der Tastenstellung die Ziffer erraten. Den praktischen Aufbau des Geräts mit „Amateurelektronik“-Teilen erkennt man aus Bild 41.

4.5. TTL-Logiktester mit 7-Segment-Anzeige

Nach einem Schaltungsvorschlag aus der „Elektronik“, Heft 10/75 (Bild 42), entstand ein Logiktester in Prüfstiftform, der über eine 7-Segment-Anzeige über den Zustand des gerade mit der Prüfspitze berührten Punktes Auskunft gibt. Bild 43 zeigt die einzelnen Anzeigefälle. Dieser Stift wird sicherlich nur von erfahrenen Amateuren benötigt und gebaut. Es mag daher der Hinweis genügen, daß u. U. einige Widerstände von den angegebenen Werten etwas abweichen können, besonders bei Verwendung einer Bastel-FSA. Die wiedergegebene Schaltung stellt bereits eine dementsprechende Variation gegenüber der Quellenangabe dar. Die Werte wurden am Objekt so variiert, daß die gewünschte Wirkung bei den vorgegebenen Pegeln zustande kam. Unter anderem mußte die in der Originalveröffentlichung als Si-Diode angegebene Diode im Fußpunkt der Transistorkaskade in eine „steile“ Ge-Diode aus der BC-Strecke eines Ge-NF-Transistors gewonnen werden, da sich die Flußspannung einer 1-A-Si-Diode gegenüber den B-E-Spannungen der Transistoren und bezüglich der vorgegebenen Spannungen als zu hoch erwies.
Im Einsatz wird der Tester mit der Versorgungsspannung der TTL-Schaltung 2polig über eine flexible Schnur verbunden, die im Muster mit zwei 1-mm-Steckern in die hintere Abschlußplatte des Geräts eingeführt wurden. Bild 44 und Bild 45 zeigen Ansichten des Musters, auf einer Streifenleiterplatte aufgebaut. Gehäuse: kupferkaschiertes Hartpapier.

4.6. Digitaluhr (Prinzip)

Bauanleitungen und Beschreibungen für elektronische Digitaluhren sind bereits in großer Anzahl erschienen.
Manche Überlegung wird jedoch dahin gehen, die hier vorgestellten Bauelemente mit einem derartigen Projekt in Verbindung zu bringen, zumal die FSA-Bauelemente zusammen mit TTL-Schaltkreisen zu

kleinen Gehäuseabmessungen führen. Mit dem Erwerb von Anzeigebauelementen ist aber erst ein Bruchteil dessen vorhanden, was an Bauelementen insgesamt benötigt wird.
Der Übersichtsschaltplan (Bild 46) zeigt die wichtigsten Baustufen einer elektronischen Uhr und gibt einen Überblick, welcher Bauelementeaufwand für die vorliegende Schaltungskonzeption bereits hinsichtlich der erforderlichen TTL-Schaltkreise getrieben werden muß. Je nach Genauigkeitsanforderungen an die Uhr kann die Zeitbasis entweder aus der 50-Hz-Netzfrequenz oder aus einer Quarzstufe abgeleitet werden. Der Aufwand für die letztgenannte Schaltungsversion ist zwangsläufig erheblich größer. Mit Ausnahme des Zählers I für die Stundenzehneranzeige werden in den Baustufen TTL-Schaltkreise verwendet.
An Schaltkreisen ergibt sich für die vorliegende Schaltungsversion folgender Aufwand:
5 × D 147 C (BCD-Dekoder),
10× (7× Betrieb mit Netzfrequenz) MH 7490 (Zähler),
3× D 100 C (4 Nand-Gatter mit je 2 Eingängen),
2× D 172 C (Master-Slave-Flipflop).

4.7. Zeitmultiplex-Betrieb von Ziffern-Anzeigen

Die Anwendung des Zeitmultiplex-Betriebs von Anzeigesystemen ist dort sinnvoll, wo vielstellige Ziffernanzeigen erforderlich sind. Beim Zeitmultiplex-Betrieb handelt es sich um ein Verfahren, das bei höheren Stellenzahlen im Bauelementeaufwand wirtschaftlicher ist als die herkömmliche Parallel-Ansteuertechnik. (Für die Parallel-Ansteuertechnik steht stellvertretend das bereits in Bild 46 gezeigte Schaltungsprinzip in Form einer Digitaluhr.)
Die zeitmultiplexe Betriebsform zeichnet sich besonders aber dadurch aus, daß zwischen Steuer- und Anzeigeteil nur wenige Verbindungsleitungen benötigt werden, was besonders bei vom Steuerteil entfernt angebrachten Anzeigen vorteilhaft ist.
Beim Multiplexbetrieb werden einige Bauelemente und Baugruppen mehrfach ausgenutzt. Der schaltungstechnische Kunstgriff beruht auf der Täuschung des menschlichen Auges. Dem Auge erscheint die angezeigte Ziffernfolge als ein einheitliches Bild. In Wirklichkeit erfolgt eine von Stelle zu Stelle fortschreitende kurzzeitige Darstellung einer Ziffer. Es ist dies die vom jeweiligen Zähler eingenommene Ziffer des Zählerstands. Dieser sich ständig wiederholende Abtastvorgang der einzelnen Zählerstände geschieht mit einer Geschwindigkeit, die oberhalb der Flimmergrenze liegt, so daß das Auge integrierend wirkt. Der Prinzipstromlaufplan nach Bild 47 zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Baugruppen. Zunächst sei daran erinnert, daß eine Ziffer in einem für den Zeitmultiplex-Betrieb vorverdrahteten Anzeigesystem nur dann aufblenden kann, wenn sowohl für die Segmente einer Stelle als auch für die zugehörige Gegenelektrode über die Treibertransistoren die erforderlichen Potentialverhältnisse gegeben sind. Ein Mitaufleuchten der untereinander verbundenen gleichartigen Segmente der anderen Stellen ist nicht möglich, da deren Gegenelektroden zu diesem Zeitpunkt masseseitig nicht durchgeschaltet sind.
Am Beispiel eines zehnstelligen Zählers gemäß Bild 47 ergeben sich folgende Schaltabläufe, wenn man zum besseren Verständnis eine Art „Momentaufnahme" annimmt (angehaltenes Zählgerät): Die den momentanen Zählerständen Z1 bis Z10 entsprechenden Ziffern verlassen die Zähler in binär verschlüsselter Form über die Ausgänge A, B, C und D und gelangen in die nachgeschalteten Torschaltungen, bestehend aus D-103-C-Schaltkreisen. Die von ihrer Funktion her auch als „Multiplexer" bezeichneten Baugruppen werden nacheinander und kurzzeitig durch die vom Taktgeber stammenden Schaltimpulse geöffnet.
Der Taktgeber besteht aus einem mit einer Frequenz von etwa 1 kHz freilaufenden Oszillator (D 100 C). Dieser treibt einen als Ringzähler nachgeschalteten Zählerschaltkreis D 192 C oder einen MH 7490 von TESLA. Die in den „1-aus-10"-Dekoder MH 7442 einlaufenden BCD-Signale werden in dekadische Impulsfolgen umgesetzt und stehen nacheinander an den 10 Ausgängen dieses Dekoders (der auch aus niedriger integrierten Bausteinen zusammengesetzt sein kann) zur Verfügung.

Ein Multiplexer wird für das BCD-Signal passierbar, wenn die miteinander verbundenen 2 Eingänge der 4 Gatter H-Potential annehmen. Das BCD-Signal durchläuft danach zur Pegelumwandlung den für alle Stellen gemeinsamen Gatterbaustein D 100. Über den Dekoder D 147 C erfolgt die Umwandlung der BCD-verschlüsselten Ziffer in eine 7-Segment-Konfiguration. Die den Segmentausgängen a bis g nachgeschalteten Segmenttreiber-Transistoren schalten die anzusteuernden Leuchtsegmente an die Betriebsspannung. Die dem abgefragten Zähler zugeordnete Stelle kann aber nur aufleuchten, wenn das den Multiplexer steuernde Signal auch die Stellentreiber-Transistoren T1 und T2 steuert. Das ist, wie aus dem Prinzipstromlaufplan ersichtlich, auch der Fall. Das vom „1-aus-10"-Dekoder kommende L-Signal bewirkt über T1, daß T2 durchschaltet und die Gegenelektrode vorübergehend an Masse legt. Für kurze Zeit sind damit die Voraussetzungen zum Aufleuchten der angesteuerten Segmente gegeben.
Die anderen Zählerstände können die ihnen nachgeschalteten Gatter nicht passieren, da diese zu diesem Zeitpunkt gesperrt sind. Prinzipiell stehen (bis auf „1-aus-10"-Dekoder) bereits alle Baustufen als Schaltkreise entsprechenden Integrationsgrads zur Verfügung, allerdings zunächst – was MH 7490, D 192 und D 147 betrifft – vorrangig für die Industrie. Da man dann aber immer noch den „1-aus-10"-Dekoder aus mehreren Schaltkreisen zusammensetzen müßte, kann Bild 46 nur eine Vorinformation sein.

Tabelle 1
Festkörperanzeigebauelemente – Technische Daten für Standardbauelemente

			VQB 71 VQB 73	VQC 32	VQA 12	
Kennwerte bei $\vartheta_a = 25\,°C$						
Lichtstärke[1]/Segment	I_L	typisch	38	19	30	µcd
bei $I_F = 10\,mA$, VQA 12 bei $I_f = 20\,mA$		minimal	20	10	20	µcd
Lichtstärke/Dezimalpunkt	I_L	typisch	30	30		µcd
bei $I_F = 10\,mA$		minimal	16	16		
Durchlaßgleichspannung/Segment	U_F	typisch	3,6	1,8	1,8	V
bei $I_F = 10\,mA$		maximal	4,0	2,0	2,0	
Durchlaßgleichspannung/DP	U_F	typisch	1,8	1,8		V
		maximal	2,0	2,0		
Temperaturkoeffizient der Gesamt-	TK_{Ptot}	maximal	−5,5	−2,9	−0,8	mW/grd
verlustleistung, linear ab 25 °C	TK_{Ptot}	minimal	−3,0			
Temperaturkoeffizient der Durchlaßgleichspannung ab 25 °C	TK_{U_F}	maximal		−1,6		mV/grd
Temperaturkoeffizient der Lichtstärke	TK_{I_L}	maximal		−0,8		%/grd
Grenzwerte bei $\vartheta_a = 25\,°C$						
Durchlaßgleichstrom/Segment bzw. DP	I_F	maximal	15	15	30	mA
Durchlaßimpulsspitzenstrom/Segment bzw. DP	$\hat{I}_{F\Omega}$	maximal	100[2]	100[2]	2000[3]	mA
Sperrgleichspannung im Betriebstemperaturbereich	U_R	maximal	4		4	V
Gesamtverlustleistung	P_{tot}	maximal	410	220	60	mW
	P_{tot}	minimal	220			
Umgebungstemperatur bei elektrischer Belastung	ϑ_a		−25...70			°C
für kurzzeitige Lagerung	ϑ_s		−40...85			°C

1 Lichtstärkemessung senkrecht zur Lichtaustrittsfläche.
2 Wobei der äquivalente Durchlaßgleichstrom nicht überschritten werden darf.
3 Bei $t_i = 1\,\mu s$, Tastverhältnis 0,001.

Tabelle 2
Funktionstabelle zum D 147 C

D C B A	L an den Segmenten	Bedeutung
L L L L	a, b, c, d, e, f	0
L L L H	b, c	1
L L H L	a, b, d, e, g	2
L L H H	a, b, c, d, g	3
L H L L	b, c, f, g	4
L H L H	a, c, d, f, g	5
L H H L	c, d, e, f, g, a	6
L H H H	a, b, c	7
H L L L	a, b, c, d, e, f, g	8
H L L H	a, b, c, f, g, d	9

Tabelle 3
Technische Daten des BCD-7-Segment-Dekoders D 147 C

Technische Daten des D 147 C		
Betriebsspannung	U_S	4,75...5,25 V
L – Eingangsspannung	U_{IL}	−0,8...0,8 V
H – Eingangsspannung	U_{IH}	2,0...5,5 V
H – Ausgangsspannung für a bis g	U_{OH}	$\geqq$ 15 V bei I_{OH} = 250 µA
L – Ausgangsspannung für a bis g	U_{OL}	$\leqq$ 0,4 V bei I_{OL} = 20 mA, U_S = 4,75 V
Stromaufnahme	I_B	$\leqq$ 90 mA

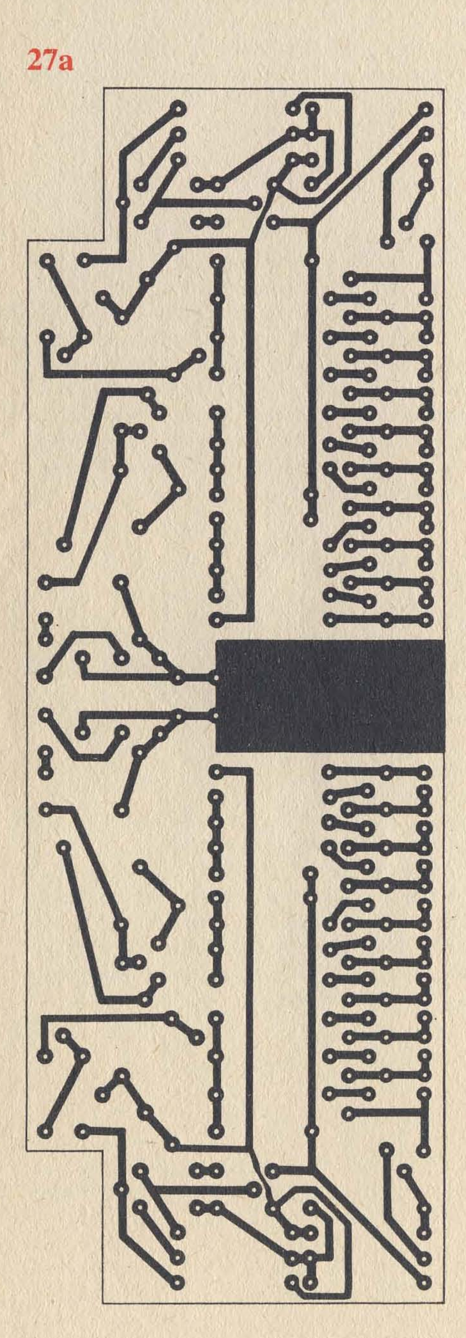
5. Literatur

Neben bereits im Text genannten Quellen sei als Auswahl noch auf folgende Literatur hingewiesen:

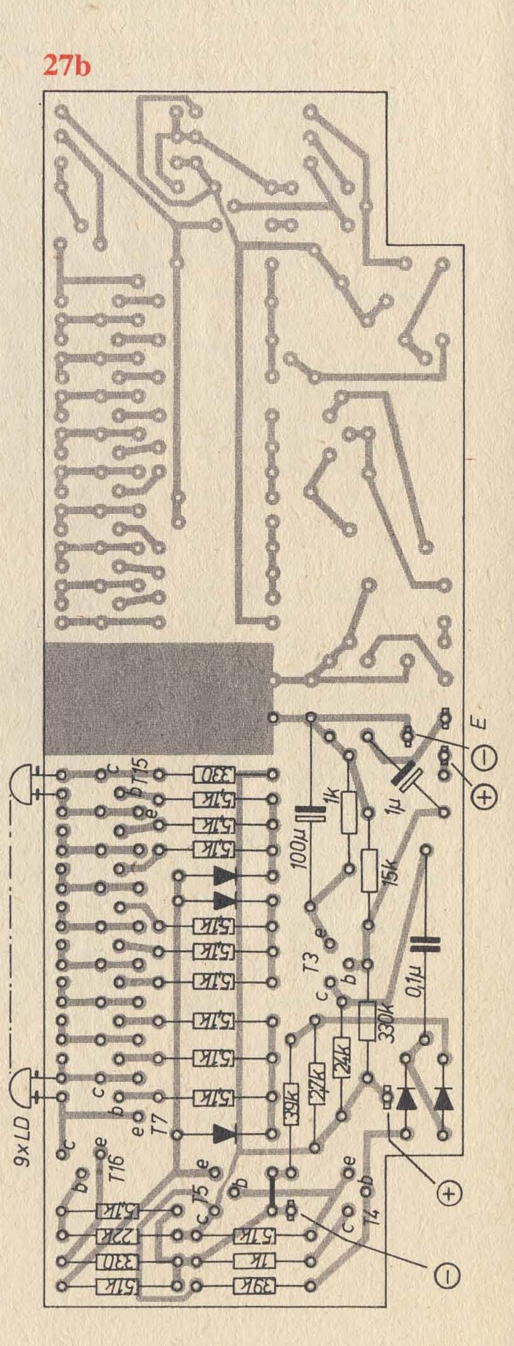
[1] –: Firmenschriften des VEB Werk für Fernsehelektronik
[2] –: Firmenschriften des Kombinat VEB Halbleiterwerk Frankfurt (Oder)
[3] –: Firmenschriften der Firma TESLA, ČSSR
[4] Müller, W.: Ziffernaustastung in mehrstelligen Anzeigesystemen mit gasgefüllten Anzeigeröhren, radio–fernsehen–elektronik 22 (1973) Heft 23, Seite 783
[5] Armgart, D.: Wirkungsweise einiger MSI-Schaltkreise, radio–fernsehen–elektronik 23 (1974) Heft 4, Seite 135 bis 138
[6] Ulrich, L/Nikolaus, M.: Anwendung der integrierten Zähler D 192 C und D 193 C, radio–fernsehen–elektronik 23 (1974) Heft 18, Seite 399
[7] –: IS-Kurzinformation D 147 C, radio–fernsehen–elektronik 24 (1975) Heft 18, Seite 595

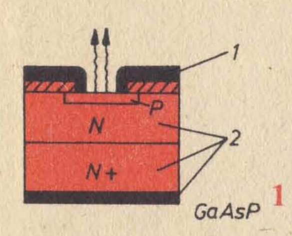
1. Auflage, 1.–25. Tausend · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1977 · Cheflektorat Militärliteratur · Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Hannelore Lorenz · Vorauskorrektor: Johanna Pulpit · Korrektor: Rita Abraham · Printed in the German Democratic Republic · Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97 · Druck und Buchbinderei: Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 22. April 1976 · Bestellnummer: 745 859 6

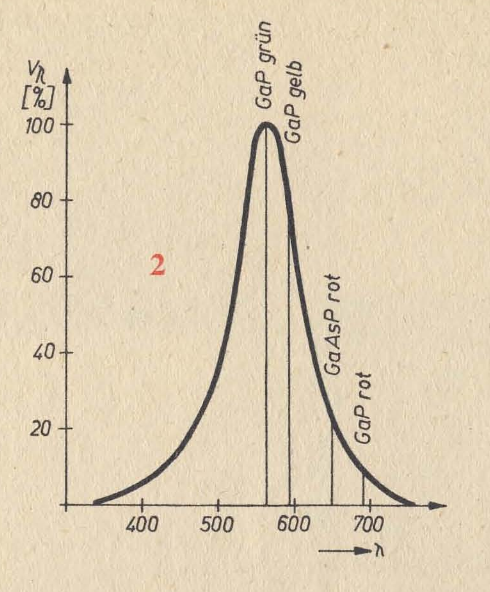
27a

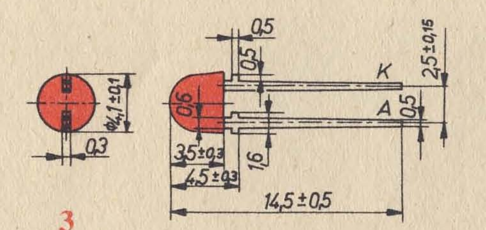


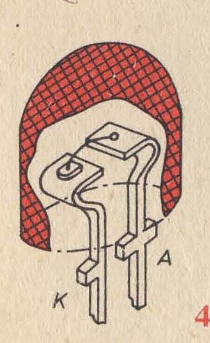
27b











5

Bild 1
Kristallaufbau einer lichtemittierenden Ga-As-P-Diode:
1 – Metallisierung, 2 – Halbleitermaterial

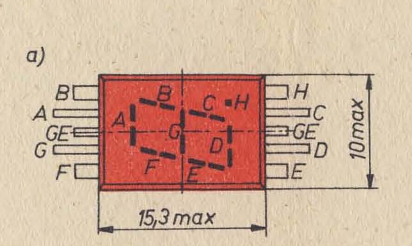
Bild 2
Emissionswellenlängen von lichtemittierenden Festkörperbauelementen auf Ga-As-P-Basis und unterschiedlich dotiertem GaP im Vergleich zur Kurve der relativen Augenempfindlichkeit

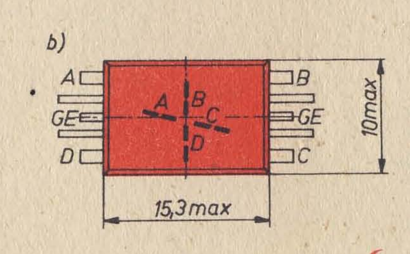
Bild 3
Leuchtdiode VQA 12 in Allplastgehäuse: K – Katode, A – Anode, Anschlüsse lötbar verzinnt

Bild 4
Leuchtdiode VQA 12, Aufbau

Bild 5
Anzeigebauelement für Ziffern (VQB 71) und Symbole (VQB 73), 7 mm Symbolhöhe; a – Vorderansicht, b – Seitenansicht

Bild 6
Anschlußbelegungen (Draufsicht): a – VQB 71, b – VQB 73; A bis G: Segmentkatoden; GE (2×) Anode (beide verbinden!)





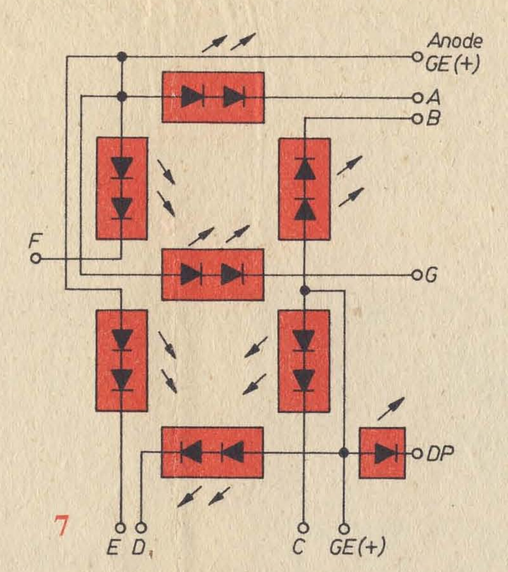
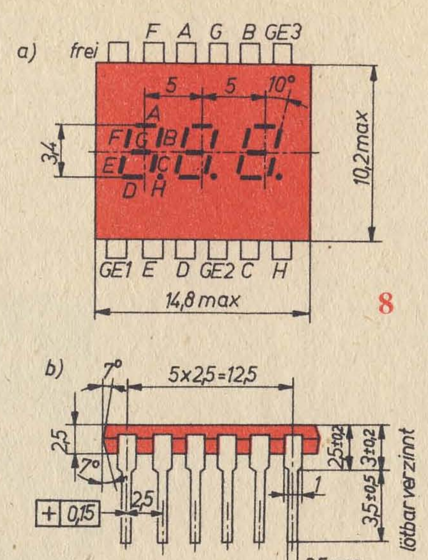
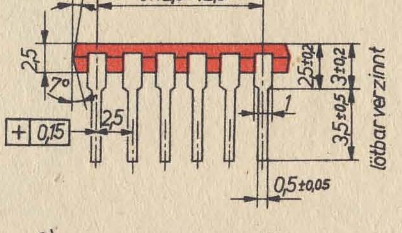
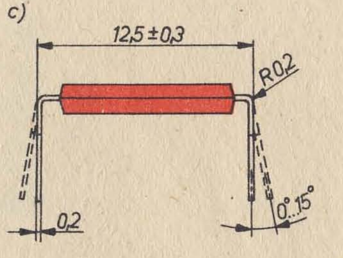


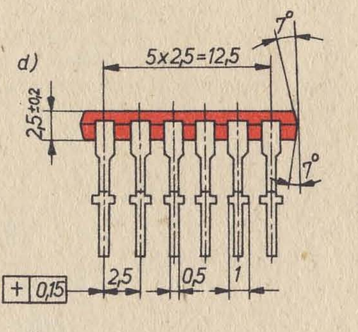
Bild 7
Innenschaltung der VQB 71

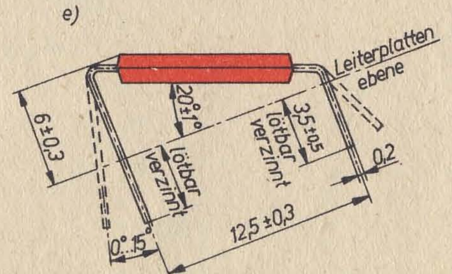
Bild 8
Dreistelliges Anzeigeelement VQC 32, 3 mm Ziffernhöhe, für Multiplexbetrieb: a – Draufsicht mit Anschlußbelegung (GE 1 bis 3 sind hier die Katoden!), b – Vorderansicht, c – Seitenansicht, d – verlängerte Anschlüsse auf einer Seite beim schrägstehenden Typ VQC 32 B, e – Seitenansicht der VQC 32 B











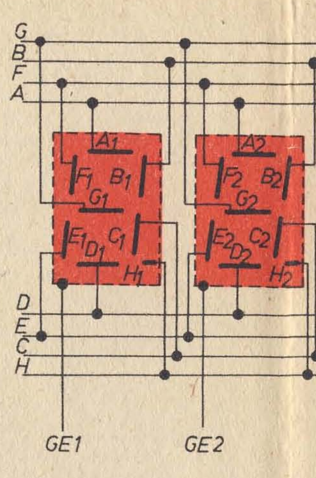


Bild 9
Innenschaltung der VQC 32

Bild 10
Richtstromkennlinien von Anzeigebauelementen mit Parameter Temperatur und Widerstandsangaben (für die Logikspannungen 5 V und 12 V erforderliche Mindestvorwiderstände je Segmentanschluß). Achtung

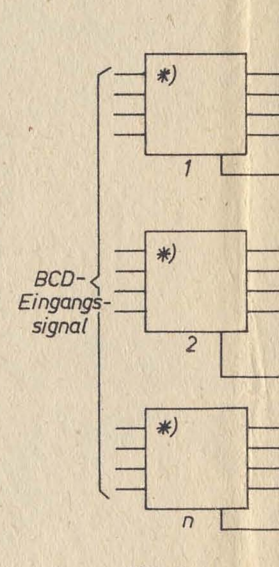


Bild 11
Diesen Aufwand erfordert d
Einsatz einer VQC 32 (Zeit-
multiplexbetrieb, sonst kann
eine von 3 Ziffern ausgenut
werden!)

9

32

n An-
ara-
Vider-
ogik-
' erfor-
rstände
htung

10

Zeichenfehler: Die beiden Widerstandslinien dürfen wegen der gewählten Koordinatenteilung nicht als Gerade verlaufen!

nspeicher

rdert der
(Zeit-
st kann nur
sgenutzt

11

12

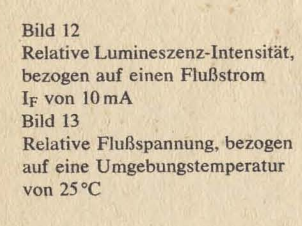
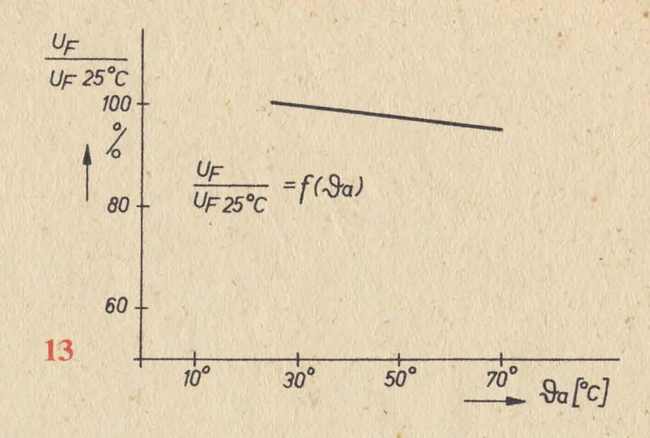
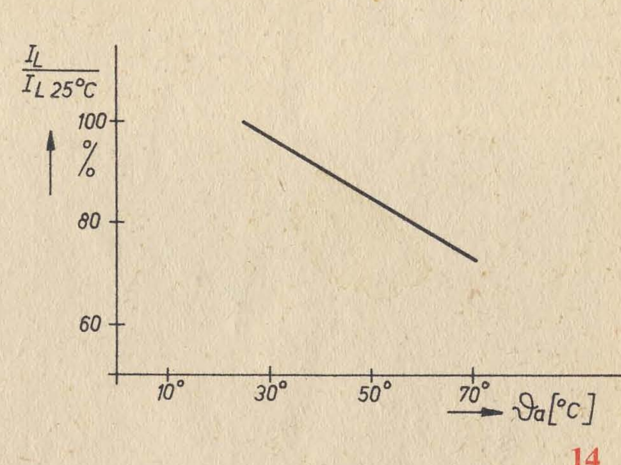


Bild 12
Relative Lumineszenz-Intensität, bezogen auf einen Flußstrom I_F von 10 mA
Bild 13
Relative Flußspannung, bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 25 °C

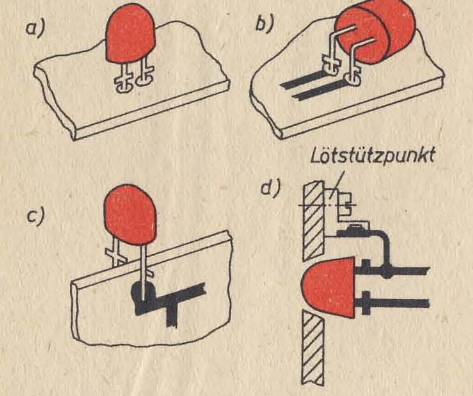


13

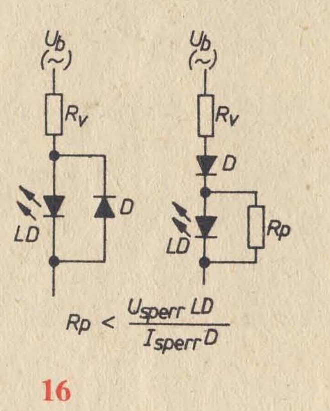
Bild 14
Relative Lumineszenz-Intensität, bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 25 °C
Bild 15
Montage von Leuchtdioden auf Leiterplatten: a – senkrecht, b – waagrecht, c – Kante (bei zweiseitiger Kaschierung), d – Frontplattenmontage (Beispiel)
Bild 16
Schutz vor zu hohen Sperrspannungen: a – Antiparallelschaltung, b – Serienschaltung (U-Aufteilung nach Sperrwiderstandsverhältnis, daher R_p)



14



15



16

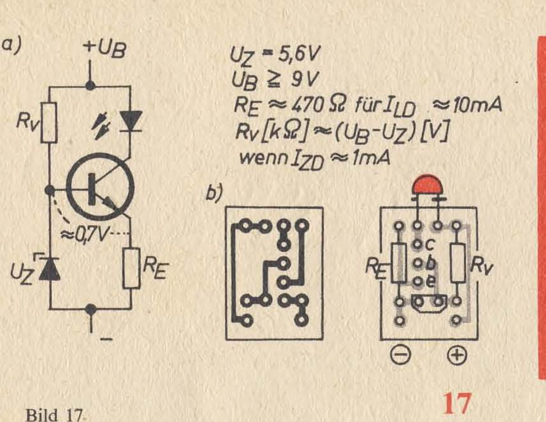
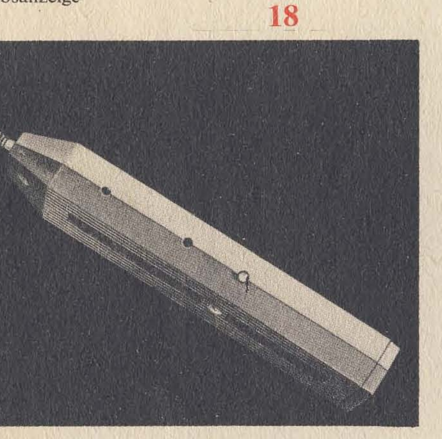
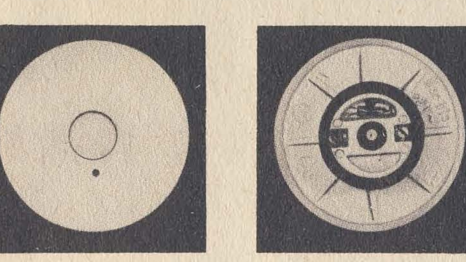


Bild 17
a – Konstantstromspeisung (Beispiel), b – Aufbaubeispiel einer durch Maßnahme a in weitem Spannungsbereich verwendbaren Betriebsanzeige

18





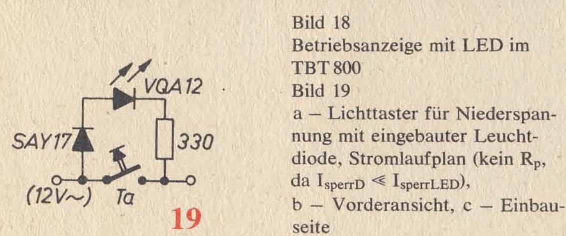
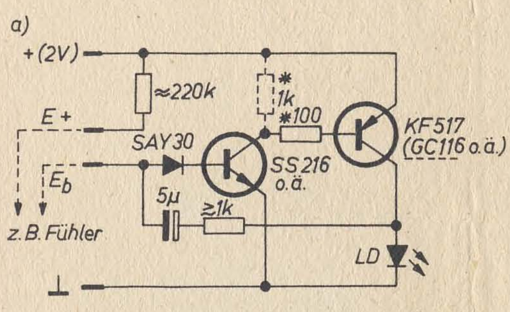
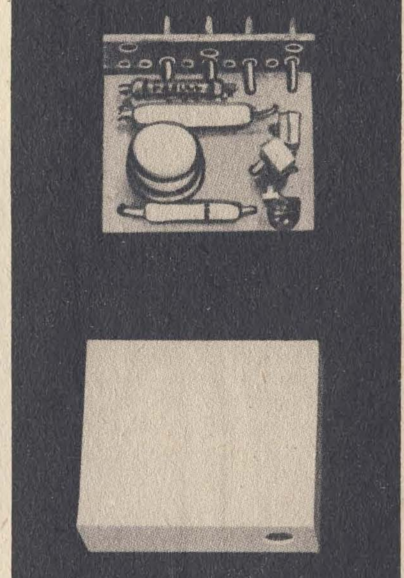
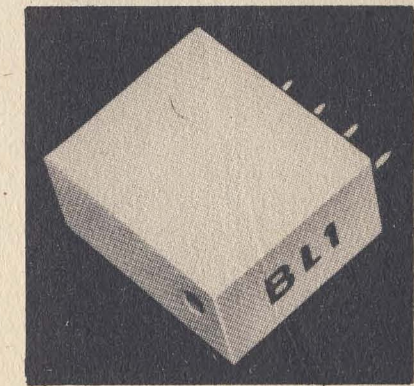


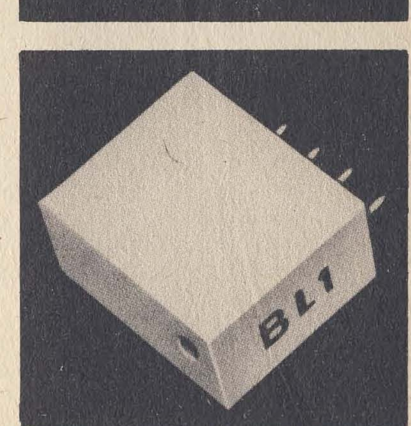
Bild 18
Betriebsanzeige mit LED im TBT 800

Bild 19
a – Lichttaster für Niederspannung mit eingebauter Leuchtdiode, Stromlaufplan (kein R_p, da $I_{sperrD} \ll I_{sperrLED}$), b – Vorderansicht, c – Einbauseite









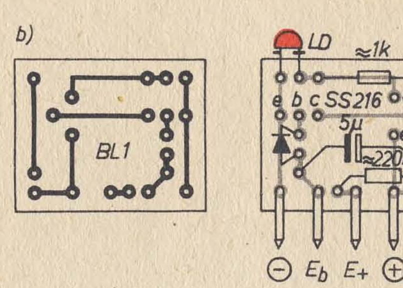


Bild 20
a – Komplementärmultivibrator mit LED-Blinkanzeige, bereits für Beispiel nach Bild 21 erweitert, b – Aufbaubeispiel im Format 20 mm × 25 mm, c und d – Bausteinfotos

Bild 21
Pflanzenwächter mit Auffüllkontrolle zu Bild 20: a – blinkt bei Unterschreiten, b – blinkt bei Auffüllen, wenn maximal zulässiger Pegel erreicht ist (umstecken!)

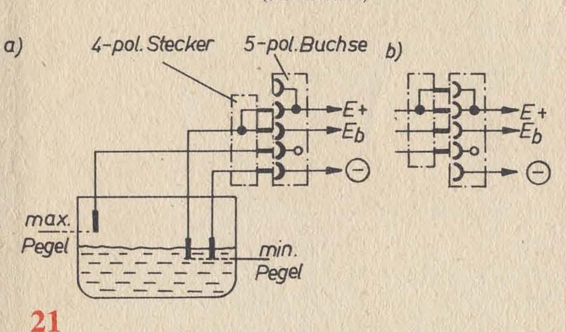
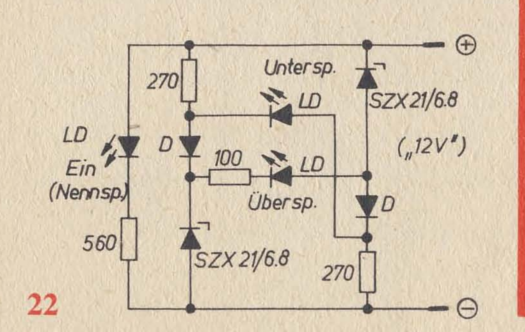


Bild 22
Spannungswächter für 12-V-Anlage mit 3 Zustandsanzeigen: Überspannung, Nennspannung (Normalanzeige), Unterspannung



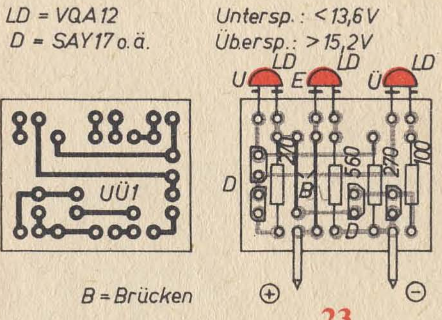
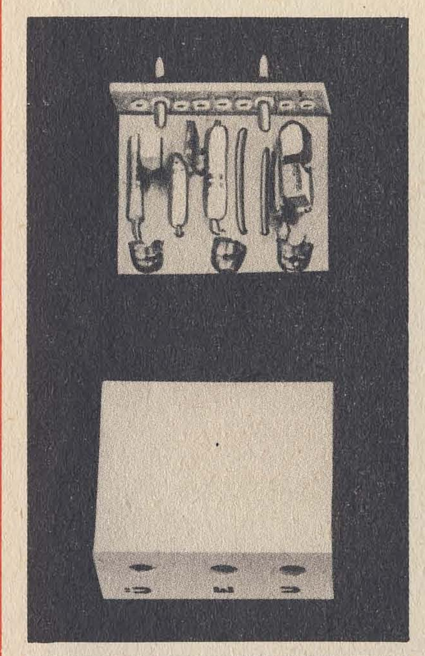
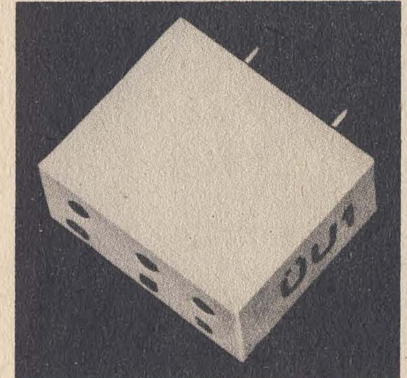


Bild 23
a – Leiterplattenmodul für die Schaltung nach Bild 22 (paßt in „Kappe 1“ von „Amateurelektronik“), b und c – Bausteinfotos





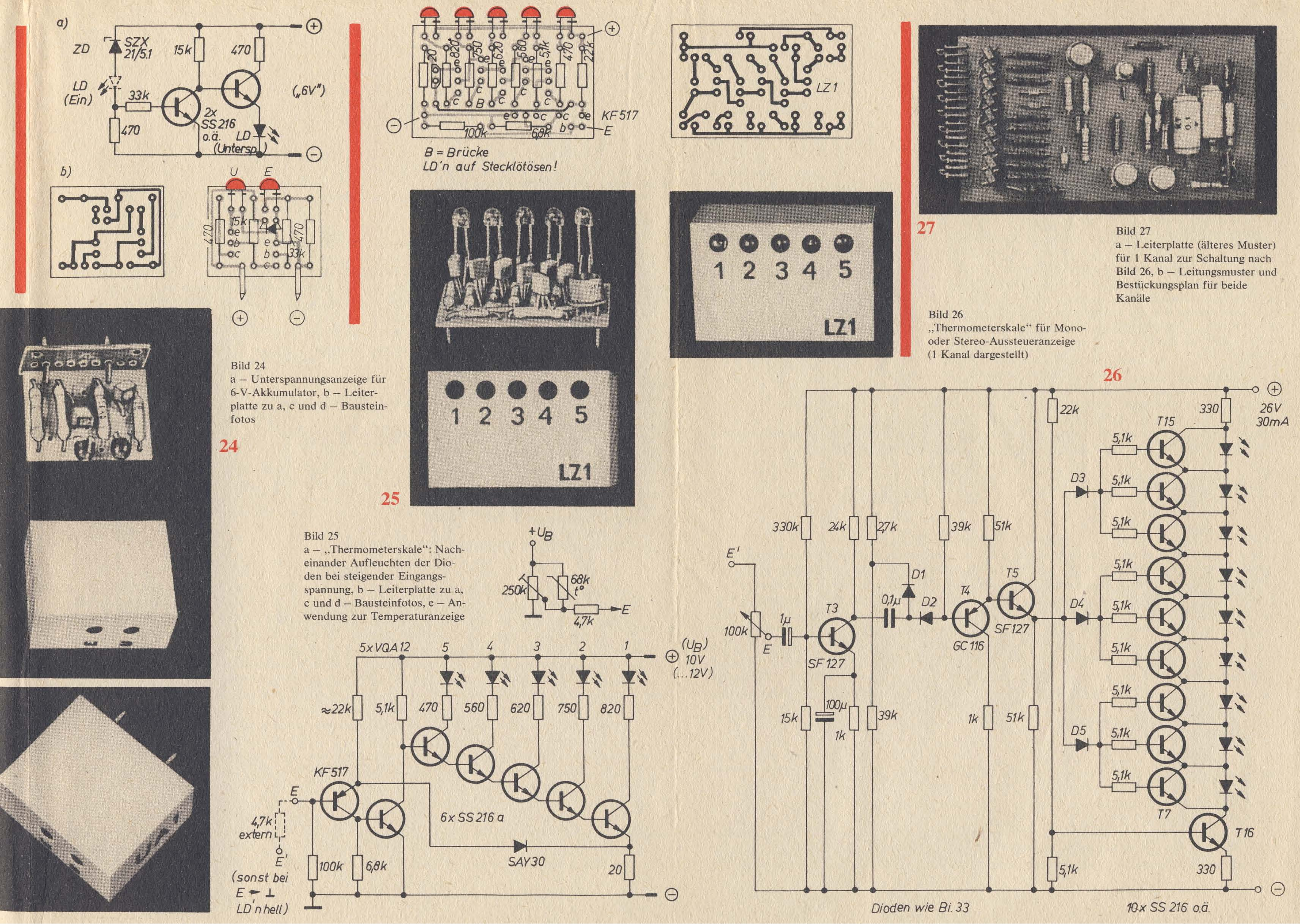


Bild 24
a – Unterspannungsanzeige für 6-V-Akkumulator, b – Leiterplatte zu a, c und d – Bausteinfotos

Bild 25
a – „Thermometerskale“: Nacheinander Aufleuchten der Dioden bei steigender Eingangsspannung, b – Leiterplatte zu a, c und d – Bausteinfotos, e – Anwendung zur Temperaturanzeige

Bild 26
„Thermometerskale“ für Mono- oder Stereo-Aussteueranzeige (1 Kanal dargestellt)

Bild 27
a – Leiterplatte (älteres Muster) für 1 Kanal zur Schaltung nach Bild 26, b – Leitungsmuster und Bestückungsplan für beide Kanäle

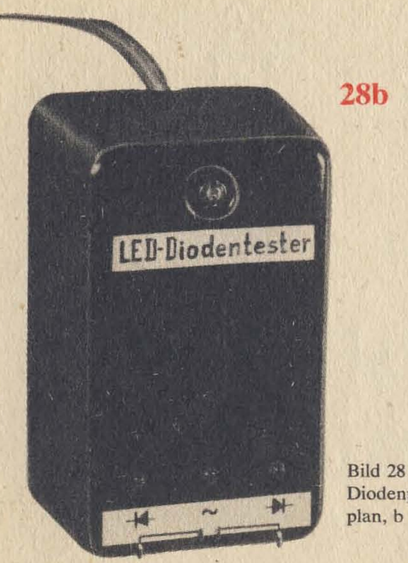
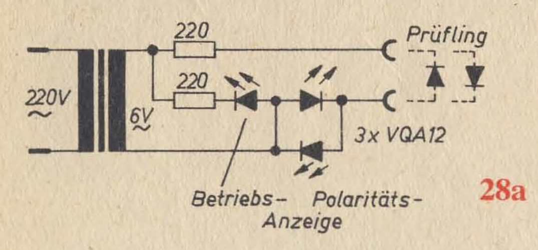


Bild 28
Diodenprüfgerät: a – Stromlaufplan, b – Ausführungsbeispiel



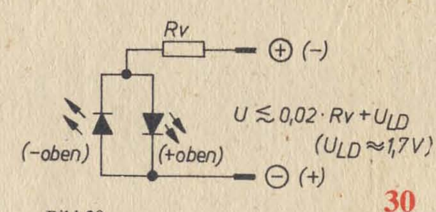
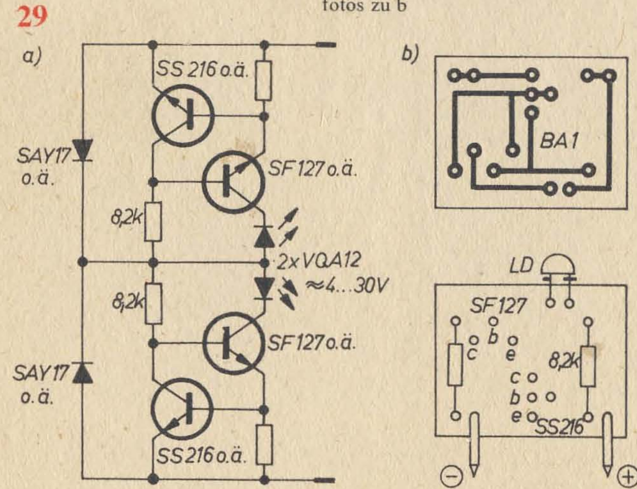
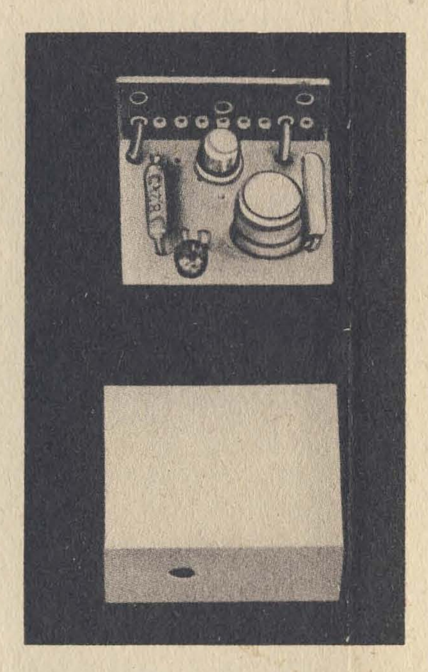
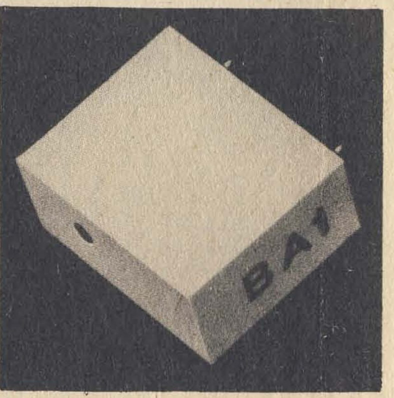


Bild 30
Einfacher Polaritätsanzeiger für eingeengten Spannungsbereich. Bei Wechselspannung leuchten beide Dioden

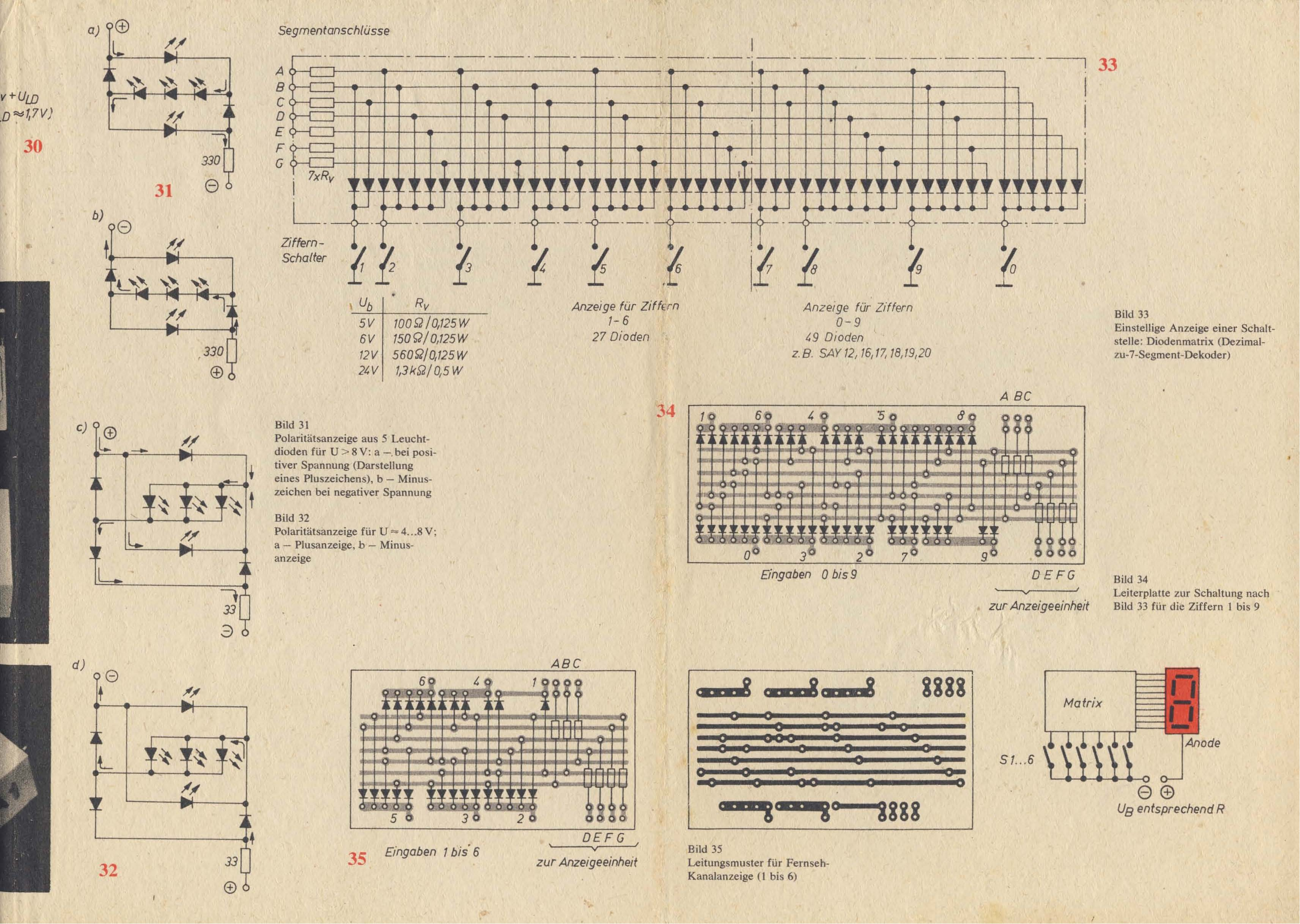
Bild 29
a – Polaritäts- und Spannungsprüfer für $U_{prüf} \approx 4 \ldots 30$ V,
b – Leiterplatte für obere Schaltungshälfte (als Betriebsanzeige für großen Spannungsbereich), c und d – Bausteinfotos zu b







29



U_b	R_V
5 V	100 Ω/0,125 W
6 V	150 Ω/0,125 W
12 V	560 Ω/0,125 W
24 V	1,3 kΩ/0,5 W

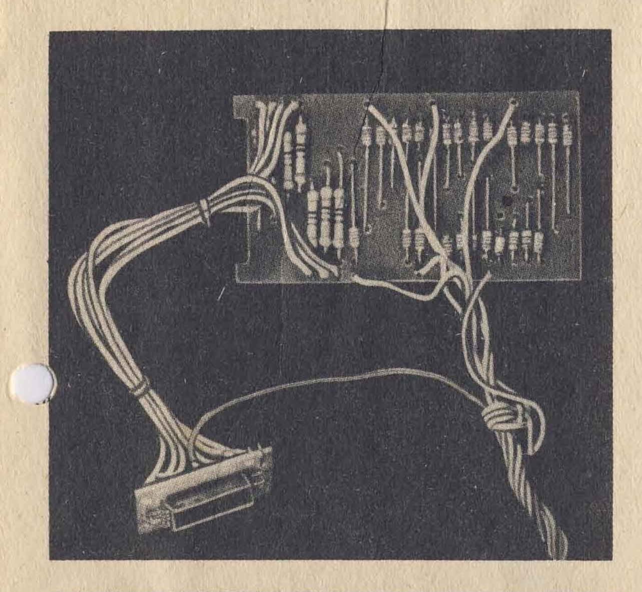
Bild 31
Polaritätsanzeige aus 5 Leuchtdioden für U > 8 V: a – bei positiver Spannung (Darstellung eines Pluszeichens), b – Minuszeichen bei negativer Spannung

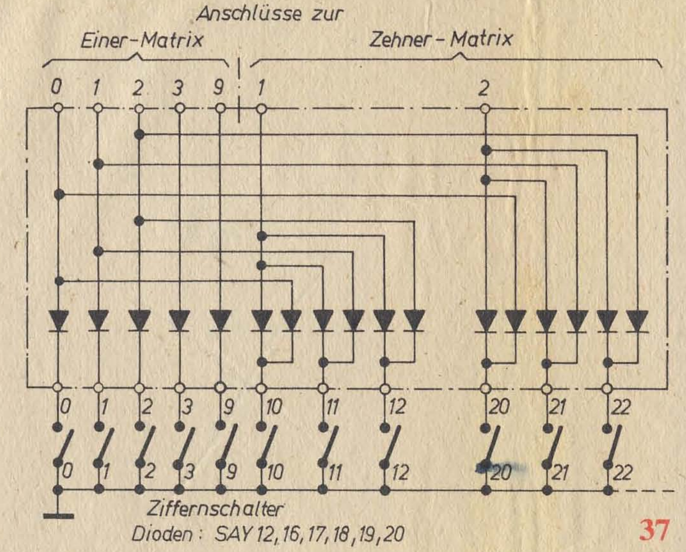
Bild 32
Polaritätsanzeige für U ≈ 4...8 V; a – Plusanzeige, b – Minusanzeige

Bild 33
Einstellige Anzeige einer Schaltstelle: Diodenmatrix (Dezimal-zu-7-Segment-Dekoder)

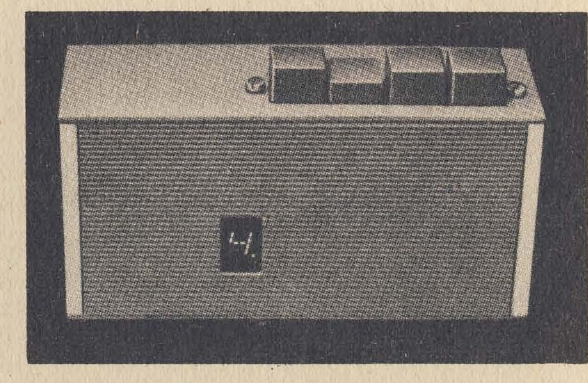
Bild 34
Leiterplatte zur Schaltung nach Bild 33 für die Ziffern 1 bis 9

Bild 35
Leitungsmuster für Fernseh-Kanalanzeige (1 bis 6)



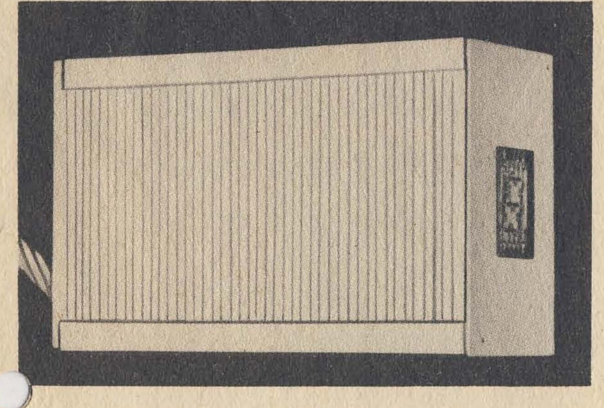


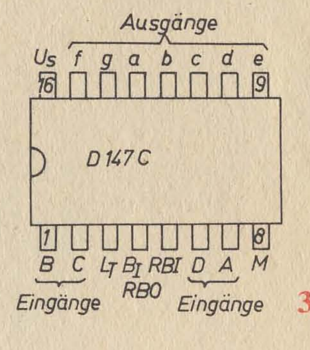
37



41a

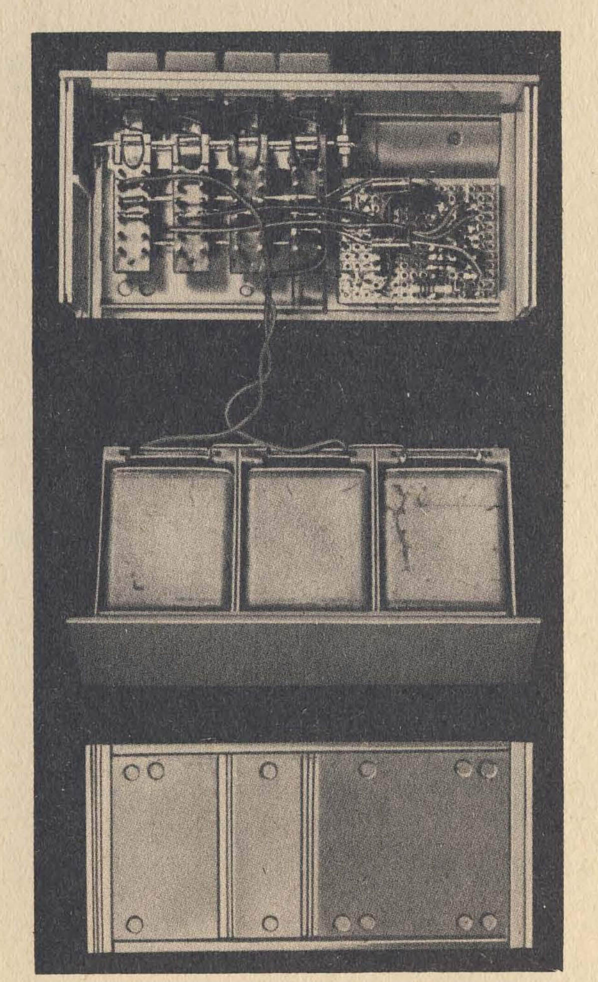
Bild 41
Ausführungsbeispiel eines „BCD-Kode-Trainers" mit „Amateurelektronik"-Teilen: a – Außenansicht (in Betrieb), b – Inneres





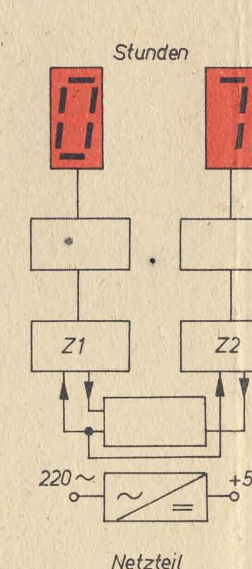
38

Bild 37
Diodenmatrix für mehrstellige Anzeige (Teilstromlaufplan für Anzeige bis 22, vgl. Text)



41b

Bild 42
Logiktester mit FSA-Bau

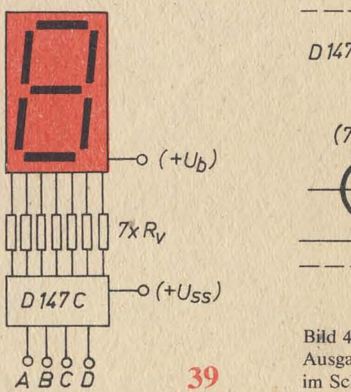


46

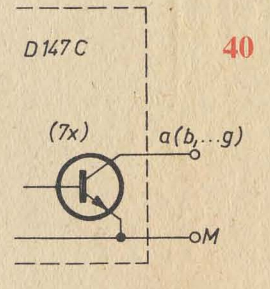
Bild 36
a – praktisch ausgeführte Diodenmatrix nach Bild 35, b – Gehäusebeispiel

Bild 38
Anschlußbelegung des D 147 C (A, B, C, D: Eingänge von einer im BCD-Kode ausgebenden Einheit, z. B. Zähldekade, a...g; Ausgänge für die 7 Katoden einer 7-Segment-Anzeige, Rest s. Text)

Bild 39
Prinzipstromlaufplan für die Ansteuerung eines 7-Segment-Anzeigebauelements mit gemeinsamer Anode (VQB 71) durch einen BCD-7-Segment-Dekoder/Treiber D 147 C (Strombegrenzungswiderstände beachten!)



39



40

Bild 40
Ausgangsstufe des D 147 C (7× im Schaltkreis, für a...g)

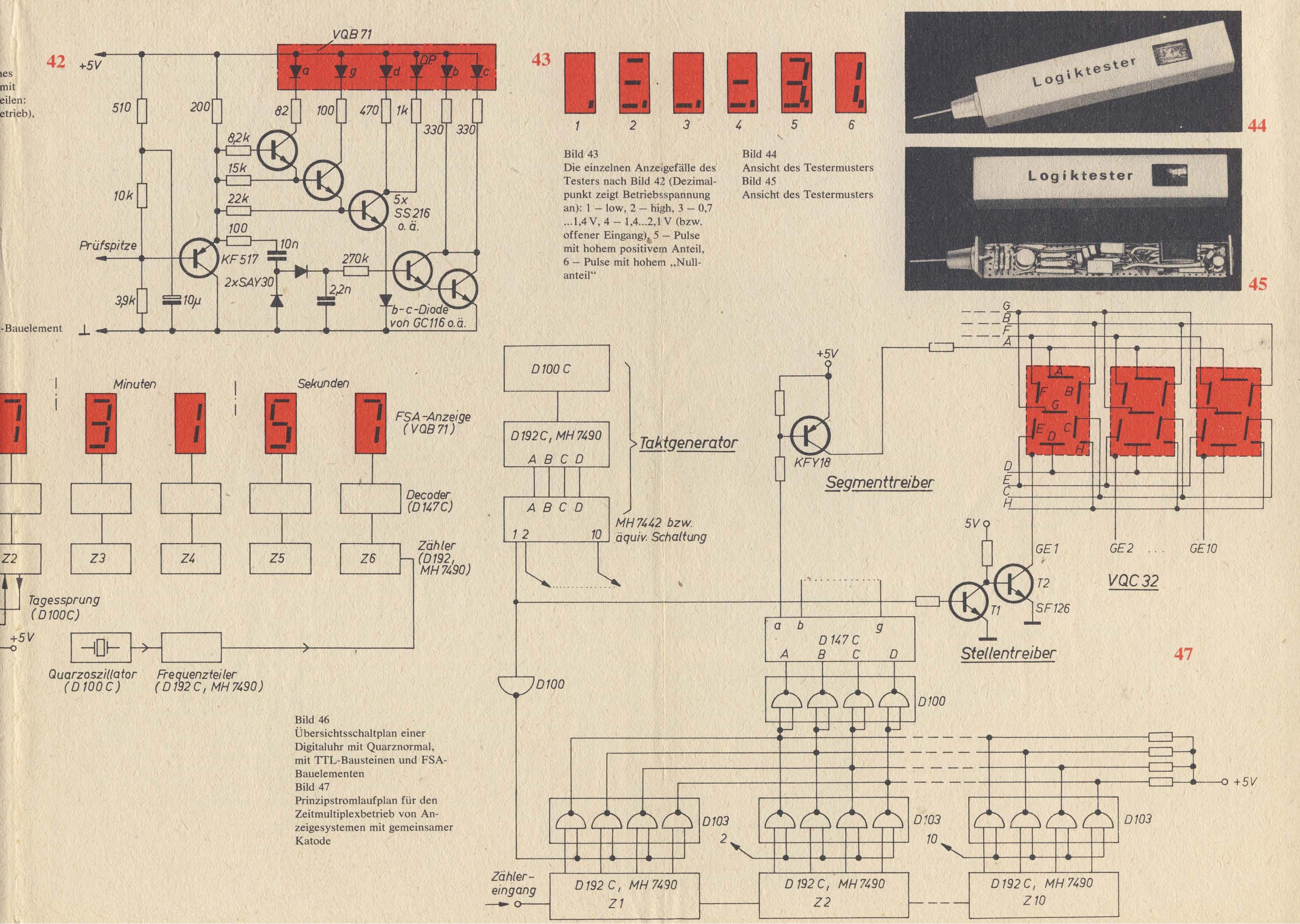


Bild 43
Die einzelnen Anzeigefälle des Testers nach Bild 42 (Dezimalpunkt zeigt Betriebsspannung an): 1 – low, 2 – high, 3 – 0,7 ...1,4 V, 4 – 1,4...2,1 V (bzw. offener Eingang), 5 – Pulse mit hohem positivem Anteil, 6 – Pulse mit hohem „Nullanteil"

Bild 44
Ansicht des Testermusters
Bild 45
Ansicht des Testermusters

Bild 46
Übersichtsschaltplan einer Digitaluhr mit Quarznormal, mit TTL-Bausteinen und FSA-Bauelementen
Bild 47
Prinzipstromlaufplan für den Zeitmultiplexbetrieb von Anzeigesystemen mit gemeinsamer Katode